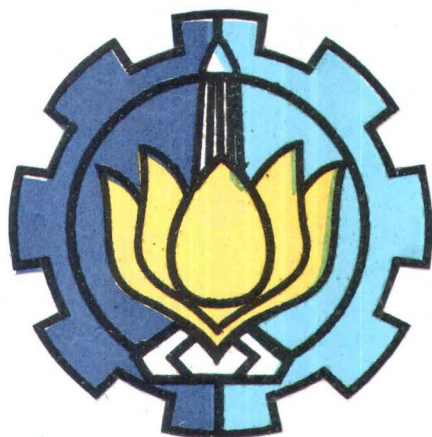


TUGAS AKHIR

PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI SEL SURYA SILIKON BERBASIS METAL - INSULATOR - SEMIKONDUKTOR (MIS)



RSFi
621.312 44
Ros
P-1
2002

Oleh :

ROSIDAH

Nrp. 1197 100 038

JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

2002

40.070

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	20/09/02
Terima dari	H
No. Agenda Prp.	21-6490

**PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI SEL SURYA
SILIKON BERBASIS METAL - INSULATOR -
SEMIKONDUKTOR (MIS)**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Menyelesaikan Program Sarjana S-1 Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya**

Oleh :

ROSIDAH

Nrp. 1197 100 038

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2002**

**PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI SEL SURYA
SILIKON BERBASIS METAL-INSULATOR-
SEMICONDUCTOR (M-I-S)**

Oleh :

ROSIDAH
1197 100 038

Mengetahui
Ketua Jurusan Fisika



Drs. Agoes Soetijono, MT
Nip. 131 835 485

JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

2002

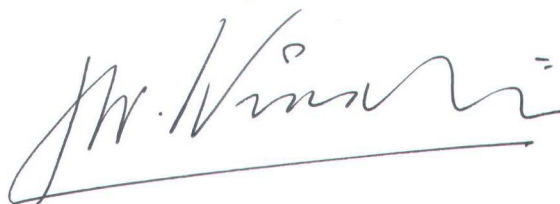
**PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI SEL SURYA
SILIKON BERBASIS METAL-INSULATOR-
SEMICONDUCTOR (M-I-S)**

Oleh :

ROSIDAH
1197 100 038

Disetujui oleh :

Pembimbing I



Prof. Soegimin Wahyu W.
Nip. 130 238 773

Pembimbing II



Drs. Darsono, MSc.
Nip. 330 002 150


JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

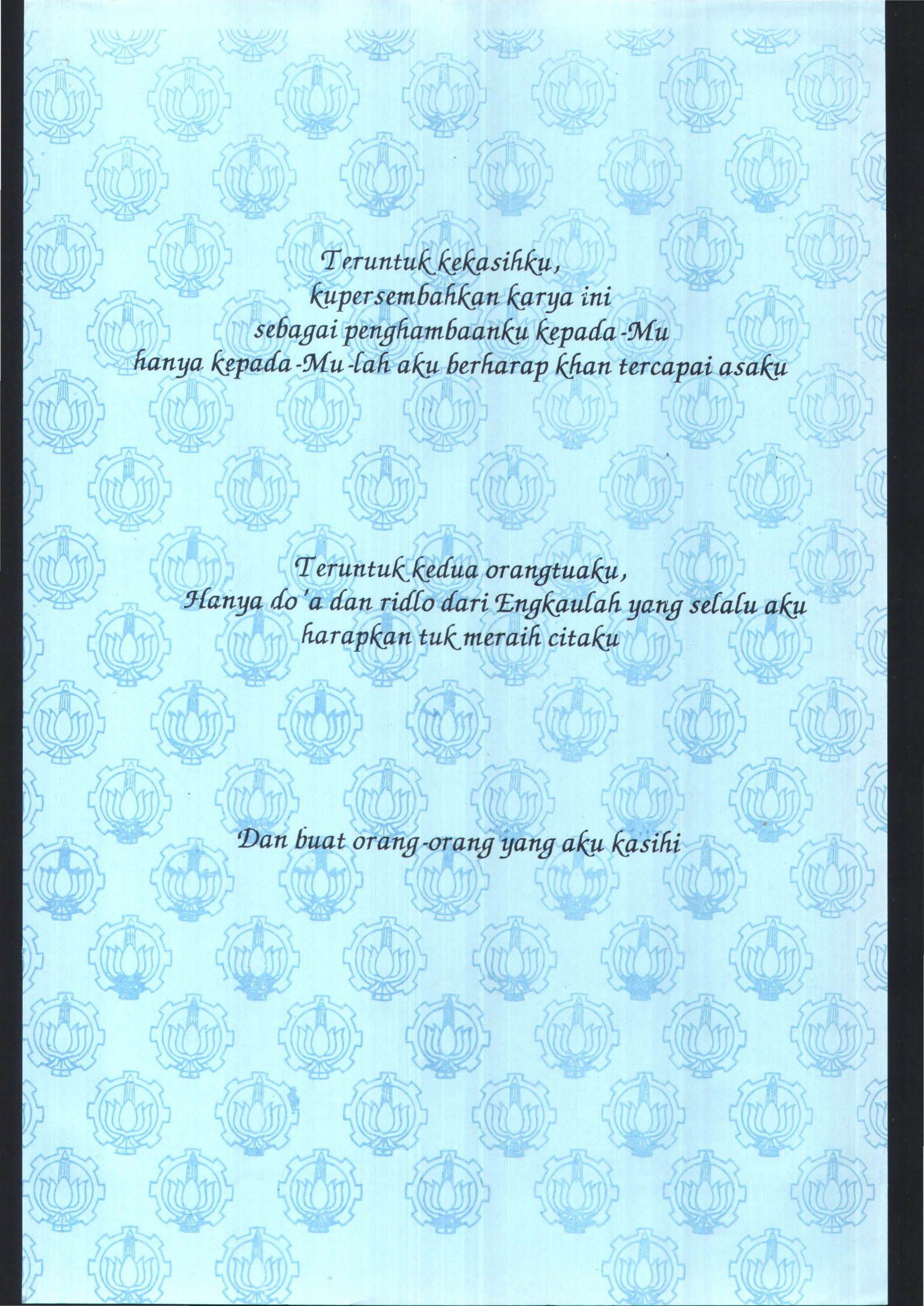
SURABAYA

2002



*Dan kepunyaan Allah-lah apa yang ada dilangit dan
apa yang dibumi. Cukuplah Allah sebagai pemelihara
(QS an nisa :132)*


*LEMBAR
PERSEMBAHAN*



*Teruntuk kekasihku,
kupersembahkan karya ini
sebagai penghambaku kepada -Mu
hanya kepada -Mu-lah aku berharap Khan tercapai asaku*

*Teruntuk kedua orangtuaku,
Hanya do'a dan ridlo dari Engkaulah yang selalu aku
harapkan tuk meraih citaku*

Dan buat orang-orang yang aku kasihi



*Ya, Tuhan kami, Janganlah engkau jadikan hati kami condong pada
kesesatan setelah engkau memberi petunjuk kepada kami. Dan
karuniakanlah kami rahmat di sisimu. Sesungguhnya engkau Maha Pemberi
(QS al imron: 8)*

ABSTRAK

ABSTRAK

PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI SEL SURYA SILIKON BERBASIS METAL-INSULATOR-SEMICONDUCTOR (M-I-S). Pembuatan dan karakterisasi sel surya silikon susunan M-I-S telah dilakukan dengan menggunakan teknik deposisi plasma. Bahan semikonduktor silikon tipe-n berukuran $1 \times 1 \text{ cm}^2$ dengan orientasi kristal $\langle 100 \rangle$ digunakan sebagai sumber pasangan elektron-lubang. Metode deposisi plasma digunakan untuk mendeposisikan bahan organik toluene sebagai isolator diantara substrat silikon dan elektroda uap logam, dengan variasi waktu deposisi yaitu 5 menit, 10 menit dan 15 menit. Semua parameter operasi dibuat tetap, yaitu tekanan vakum 2×10^{-2} mbar, tekanan operasi $6,5 \times 10^{-2}$ mbar, tegangan pendorong 650 V, tegangan pemfokus 200 V, daya RF 10 W, dan suhu toluene 40°C . Elektroda logam berbentuk kisi dilapiskan diatas lapisan isolator organik sebagai *front grid* dengan menggunakan logam perak (Ag), emas (Au) dan tembaga (Cu) sedangkan bahan kontak ohmik dilapiskan dibagian belakang silikon sebagai *back contact* dengan menggunakan logam Aluminium (Al) dan Nikel (Ni) keduanya dibuat dengan metode evaporasi. Di permukaan sel surya diberi lapisan antirefleksi TiO_2 untuk meminimalkan adanya pantulan sinar yang mengenai permukaan sel surya. Hasil pengukuran resistivitas menunjukkan adanya peningkatan resistivitas setelah dilapisi dengan bahan isolator organik. Pengamatan pengaruh logam kontak pada arus keluaran menunjukkan bahwa kontak logam Au menghasilkan arus keluaran terbesar, jika dibandingkan dengan logam Cu dan Ag. Dari hasil penelitian sel surya M-I-S, diperoleh nilai efisiensi terbesar 12,93 % untuk Si/Toluene/Au/15 menit dan terendah 4,58 % untuk sel surya Si/Toluene/Ag/10 menit, sedangkan besarnya faktor pengisi memiliki nilai antara 0,52 sampai 0,67.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah hirobbil ‘alamiin, segala puji hanya bagi Allah S.W.T yang Maha Pengampun, lagi Maha Pengasih dan Penyayang. Sholawat dan salam semoga tetap tercurah kepada junjungan kita Rosulullah Muhammad S. A.W, beserta keluarga dan sahabat beliau. Salam ta’zim bagi ahli silsilah Thariqot dan salam ta’zim Yang Mulia Ayahanda Guru Al Khalidi, Prof. DR. Khadirun Yahya Muhammad Amin MSc, yang senantiasa membimbing Rohani dan kalbu bagi anak-anak beliau.

Hanya dengan rahmat dan hidayah-Nyalah akhirnya dapat terselesaikannya penulisan Tugas Akhir saya yang berjudul :

PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI SEL SURYA SILIKON BERBASIS METAL-INSULATOR-SEMICONDUCTOR (M-I-S)

Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di Jurusan Fisika FMIPA-ITS.

Berhasilnya penulisan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dorongan baik moril maupun material serta kerjasama dari berbagai pihak terutama kepada Bapak dan Ibu Dosen Pengajar di Jurusan Fisika FMIPA-ITS. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ayah dan Ibuku yang telah mengasuh, membimbing, membesarkan penulis dengan penuh perhatian dan kesabaran, Saudara-saudaraku yang telah memberikan dukungan moril dan material serta Budhe yang selalu mendoakanku dengan keihklasan.
2. Bapak Prof. Soegimin, selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan banyak waktunya untuk membimbing kami dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Bapak Drs. Darsono, MSc selaku dosen pembimbing lapangan yang telah membimbing kami selama penelitian di BATAN yogyakarta.

4. Bapak Sukarman Aminjoyo, selaku Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Maju, Yogyakarta
5. Bapak Agoes soetijono, selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA-ITS
6. Bapak Zainal Arifin, selaku sekretaris Jurusan Fisika FMIPA-ITS
7. Bapak Ali Yunus Rohedi, selaku koordinator Tugas Akhir jurusan Fisika FMIPA-ITS
8. Bapak Gatot Yudoyono, selaku dosen wali penulis di Jurusan Fisika FMIPA ITS.
9. Seluruh Staf Pengajar di Jurusan Fisika FMIPA ITS.
10. Seluruh Karyawan di Jurusan Fisika FMIPA-ITS
11. Bapak dan Ibu karyawan karyawan BATAN Yogyakarta.
12. Teman-temanku angkatan 97, 96, 98, 99 yang tidak bisa kusebutkan satu persatu, terima kasih semuanya.
13. Pihak-pihak lain yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu kami dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat memberikan sumbangan yang bermanfaat terhadap pemikiran dan pengembangan ilmu pengetahuan pada umumnya dan khususnya bermanfaat bagi penulis sendiri.

Penulis menyadari sepenuhnya, bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Kritik dan saran dari pembaca sangat kami harapkan agar dapat menjadi masukan yang berharga untuk penelitian ini dan penelitian selanjutnya.

Surabaya, Agustus 2002

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR SIMBOL.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR LAMPIRAN.....	vii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Sistematika.....	3
1.5 Manfaat.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Intensitas Radiasi Matahari.....	5
2.2 Pita Energi Pada Semikonduktor.....	7
2.2.1 Semikonduktor Intrinsik	10
2.2.2 Semikonduktor Ekstrinsik.....	12
Semikonduktor tipe-n.....	12
Semikonduktor tipe-p.....	14
2.3 Efek Fotovoltaik.....	16

2.4 Sel Surya.....	16
Bahan Dasar Sel Surya.....	17
Karakteristik Sel Surya.....	18
Sensitivitas Sel Surya.....	22
Pengaruh Intensitas Radiasi matahari.....	22
2.5 Struktur M-I-S	23
2.6 Efisiensi Sel Surya.....	25
2.7 Teknik Deposisi	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	29
3.1 Bahan dan Alat.....	29
3.1.1 Bahan yang digunakan.....	29
3.1.2 Peralatan yang digunakan.....	31
3.2 Skema Penelitian.....	39
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	45
4.1 Pengaruh Lapisan Isolator Terhadap Sel Surya M-I-S.....	45
4.2 Karakteristik Kapasitansi-Tegangan (C-V) Sel Surya M-I-S.....	49
4.3 Pengaruh Logam Kontak Terhadap Arus Keluaran Sel Surya M-I-S.....	51
4.4 Perhitungan Efisiensi dan Fill Factor Sel Surya M-I-S.....	54
BAB V KESIMPULAN.....	59
DAFTAR PUSTAKA.....	60
LAMPIRAN.....	62

DAFTAR SIMBOL

d	: tebal isolator
C	: Kapasitansi
E	: tingkat energi
E_f	: tingkat energi fermi
E_c	: tingkat pita konduksi
E_i	: tingkat energi elektron
E_d	: tingkat energi donor
E_v	: pita energi valensi
E	: medan listrik
E_g	: energi gap
ϵ_0	: permitivitas hampa
ϵ	: konstanta dielektrik semikonduktor
ϵ_t	: konstanta elektrik bahan
FF	: fill factor
$f(\epsilon)$: fungsi distribusi fermi
I_m	: arus maksimum
I_{sc}	: arus hubung pendek
I_L	: arus konstan yang dihasilkan cahaya
I_s	: arus saturasi
k	: konstanta Boltzman
N_d	: konsentrasi pembawa muatan
P	: daya keluaran

1.2 Permasalahan

Dengan mengacu latar belakang tersebut, maka diperoleh informasi bahwa besarnya efisiensi keluaran dan karakteristik I-V maupun C-V suatu sel surya dipengaruhi oleh ketebalan lapisan organik sebagai isolatornya, dan logam sebagai kontak elektrodanya. Dengan demikian sangat diperlukan adanya penelitian mengenai pengaruh tebal lapisan tipis bahan organik toluene dan pengaruh kontak elektroda terhadap efisiensi dan karakteristik suatu sel surya Metal-Insulator-Semikonduktor.

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah mampu membuat dan menentukan efisiensi serta karakteristik sel surya M-I-S, kemudian memperoleh informasi mengenai pengaruh ketebalan lapisan tipis bahan organik toluena sebagai isolatornya dan pengaruh logam kontak terhadap keluaran sel surya M-I-S.

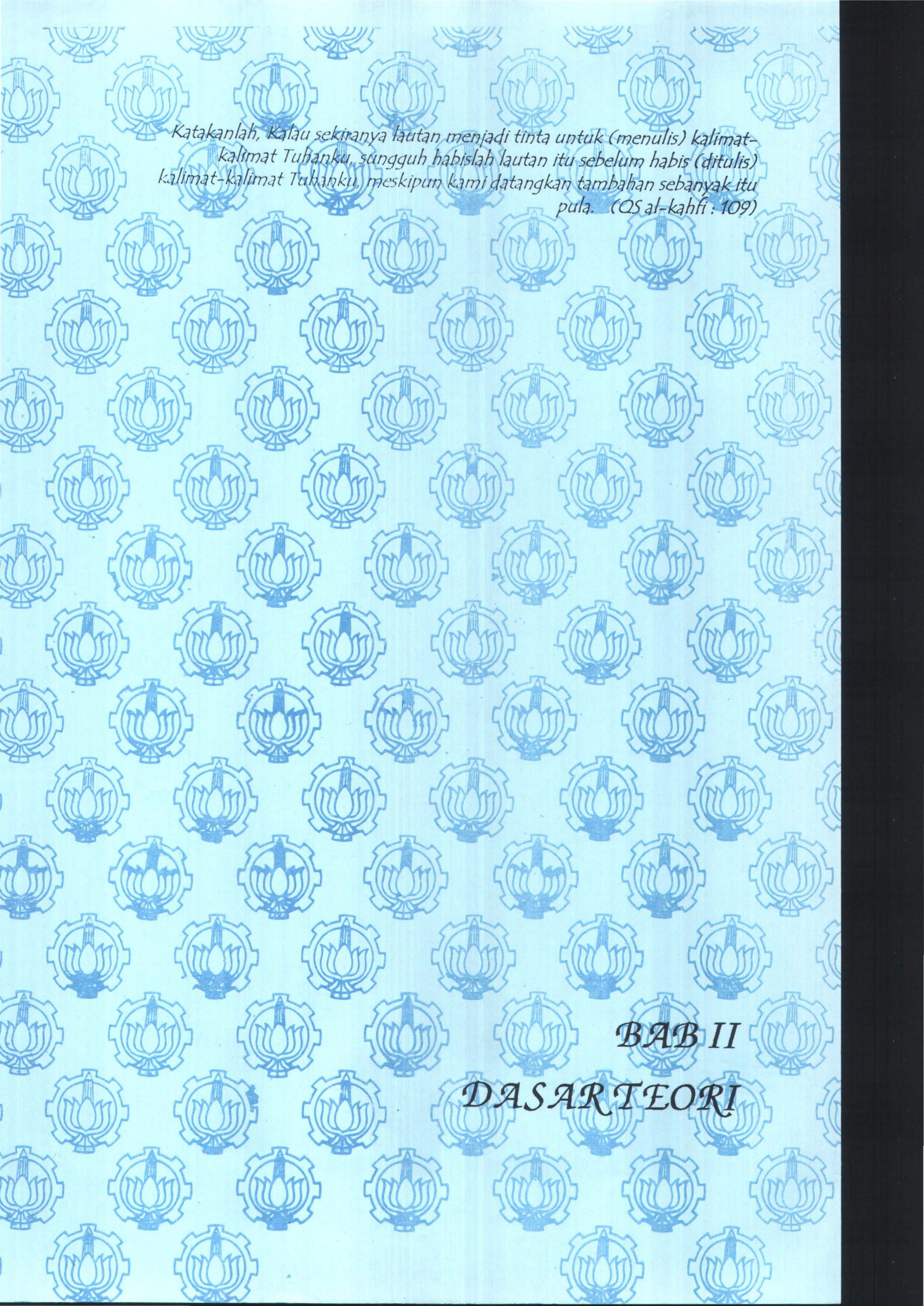
1.4 Sistematika

Sistematika laporan penelitian Tugas Akhir ini meliputi, latar belakang pembuatan sel surya dengan metode M-I-S serta tujuan dan permasalahannya yang terangkum dalam bab I, kemudian konsep dasar sel surya, mengenai bahan semikonduktor yang digunakan, dan efisiensi dari sel surya diuraikan dalam bab II. Mengenai peralatan yang digunakan dan cara pembuatannya sel surya berbasis M-I-S, serta bagaimana pengujiannya terangkum dalam bab III, sedangkan bab IV meliputi analisa hasil pengukuran dan pembahasan dari keseluruhan hasil penelitian. Akhirnya hasil penelitian dari Tugas Akhir ini dapat disimpulkan dalam bab V serta dilengkapi dengan Daftar Pustaka yang menunjang penelitian ini.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Mampu mengaplikasikan teknologi semikonduktor untuk perangkat optoelektronika khususnya sel surya
- Mampu membuat suatu piranti sel surya yang menggunakan metode deposisi terhadap lapisan logam isolator dan semikonduktor
- Memperoleh informasi mengenai ketebalan lapisan tipis bahan organik yang dapat digunakan sebagai rujukan untuk penelitian selanjutnya
- Hasil penelitian ini bisa dijadikan referensi dan sumber informasi bagi penelitian lanjutan dan pengembangannya



Katakanlah, Kalau sekiranya lautan menjadi tinta untuk (menulis) kalimat-kalimat Tuhanku, sungguh habislah lautan itu sebelum habis (ditulis) kalimat-kalimat Tuhanku, meskipun kami datangkan tambahan sebanyak itu pula. (QS al-kahfi : 109)

BAB II

DASAR TEORI

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Intensitas Radiasi Matahari

Matahari merupakan sumber energi utama dalam tata surya, dimana energi ini merupakan hasil dari reaksi fusi. Energi matahari yang dipancarkan ke alam semesta ini sebenarnya merupakan pancaran dari reaksi proton-proton pada matahari yang merupakan sebuah reaksi termonuklir yang sangat besar, dan dari matahari ini dikeluarkan daya sebesar $3,8 \cdot 10^{23}$ kW secara kontinue. Energi matahari yang diterima bumi seluruhnya dalam bentuk radiasi, dimana pada temperatur 15.000.000 °C dapat mengkonversi 5 ton materi setiap detiknya menjadi energi yang dipancarkan ke angkasa luar. ⁽²⁾

Sedangkan energi yang dihasilkan oleh matahari dapat diterima bumi, dimana perpindahan energi ini melalui proses radiasi. Energi yang diradiasikan oleh matahari sebenarnya cukup tinggi, namun energi yang dapat diterima diatas permukaan bumi ini relatif kecil. Hal ini disebabkan adanya penyerapan dan penghamburan oleh partikel-partikel yang ada dalam atmosfer yaitu gas-gas seperti ozon, O₂, N₂, uap air dan debu. Dengan demikian energi sampai kepermukaan bumi selalu berubah-ubah tergantung keadaan atmosfer bumi serta kedudukan relatif terhadap matahari. Hal ini berhubungan dengan lintasan optisnya yang ditempuh oleh radiasi matahari hingga mencapai permukaan bumi.

Ketika radiasi matahari melintasi atmosfer bumi, maka akan terjadi pengurangan intensitas yang mencapai 30 % dari intensitas luar atmosfer. Pengurangan ini disebabkan oleh beberapa hal : ⁽³⁾

1. Hamburan Rayleigh, berupa hamburan oleh molekul-molekul udara.

Umumnya hamburan terjadi untuk radiasi gelombang pendek

2. Hamburan oleh aerosol dan partikel debu udara
3. Absorpsi oleh molekul-molekul udara.

Pada umumnya energi matahari yang sampai ke permukaan bumi dalam bentuk paket-paket gelombang elektromagnetik yang disebut foton. Tumbukan foton pada bahan akan menghasilkan proses penyerapan terhadap bahan dan menimbulkan kenaikan temperatur (panas). Namun demikian energi matahari yang menuju ke bumi tidak seluruhnya diterima permukaan bumi, tetapi sebagian diserap oleh atmosfer bumi dan dihamburkan oleh molekul-molekul udara. Besarnya energi matahari yang diterima permukaan bumi dalam bentuk radiasi dinyatakan dengan satuan konstanta matahari. Yang dimaksud dengan konstanta matahari adalah besarnya energi matahari yang dapat diterima oleh suatu permukaan persatuan waktu persatuan luas, pada jarak rata-rata bumi matahari, dimana permukaan tersebut tegak lurus terhadap sinar matahari. Besarnya konstanta radiasi matahari didefinisikan dengan jumlah total dari semua panjang gelombang yang diterima bumi persatuan waktu, persatuan luas permukaan datar yang tegak lurus dengan lintasan berkas cahaya pada jarak rata-rata bumi matahari pada satuan astronomi. Besar konstanta matahari adalah sebesar $1,37 \text{ kal/cm}^2 \cdot \text{menit}$.

Sedang besar konstanta radiasi matahari (KRM) adalah :

$$\text{KRM} : 1353 \text{ watt/m}^2 = 0,1353 \text{ watt/cm}^2 = 1,353 \text{ kW/m}^2 \text{ (3)}$$

Besarnya energi radiasi surya yang mencapai permukaan bumi bervariasi, sehingga dalam menentukan besar energi surya ini perlu diketahui besar intensitas

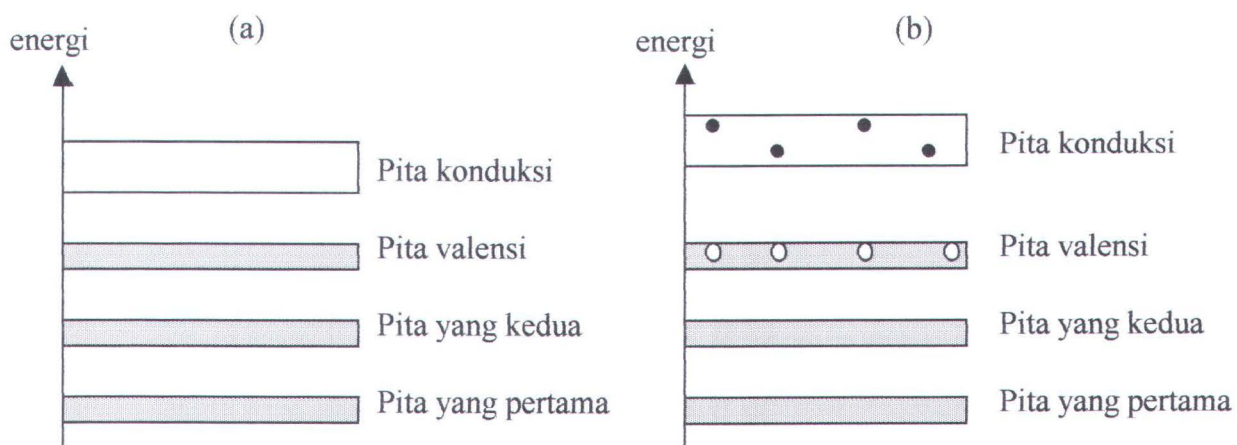
radiasi matahari dan pengaruh atmosfer terhadap distribusi gelombang elektromagnetik sinar matahari serta pengaruh dari rotasi dan revolusi bumi.

Intensitas radiasi matahari yang jatuh ke permukaan bumi, pada umumnya terdiri dari : Intensitas radiasi matahari langsung, intensitas radiasi matahari difusi, dan intensitas radiasi matahari pantulan. Intensitas radiasi matahari langsung : radiasi yang diterima oleh permukaan bumi tanpa adanya perubahan arah. Intensitas radiasi matahari difusi : radiasi matahari yang diterima oleh permukaan bumi setelah mengalami perubahan arah disebabkan oleh pemantulan dan hamburan oleh atmosfer. Intensitas radiasi pantulan : radiasi matahari yang dipantulkan oleh lingkungan sekelilingnya. Intensitas radiasi surya akan mempunyai harga yang berbeda apabila pengukuran dilakukan pada saat yang beda. Hal ini disebabkan adanya perbedaan sudut ketinggian matahari dan perubahan panjang lintasan sinar matahari, yang menuju lintasan atmosfer bumi.

2.2 Pita Energi Pada Semikonduktor

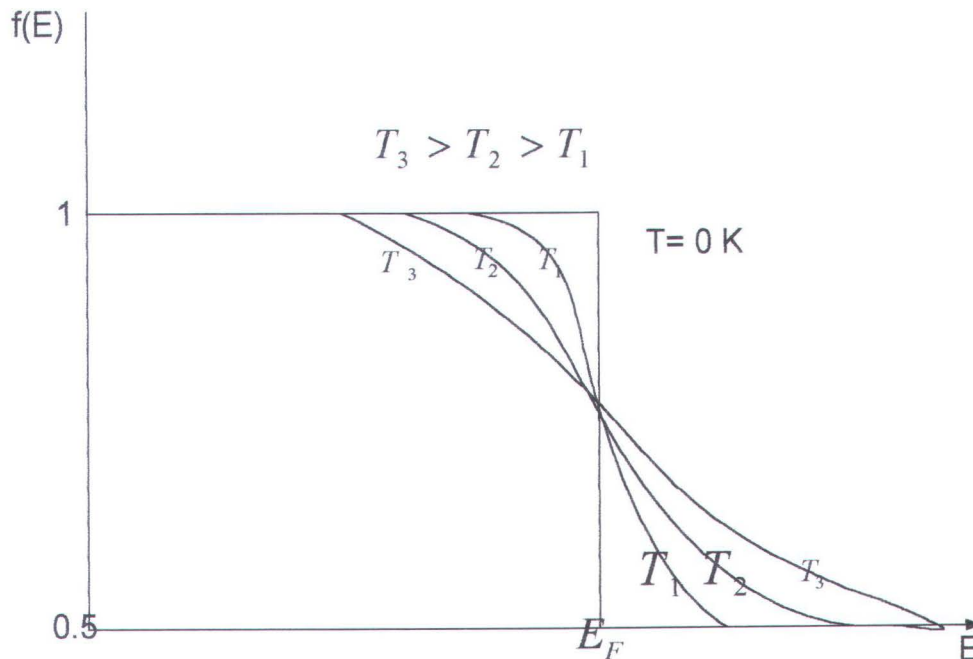
Sifat-sifat elektron dalam suatu bahan ditentukan oleh keadaan ikatan antar atom-atom penyusunnya. Semakin jauh jarak elektron dengan inti, maka daya ikat antar atomnya akan semakin kecil. Elektron-elektron yang berada pada kulit terluar dalam susunan atom disebut elektron valensi. Elektron-elektron valensi dalam semikonduktor tidak dapat bergerak secara bebas. Agar elektron valensi dapat bergerak tanpa adanya hambatan, mereka harus dalam keadaan tidak berikatan / bebas. Maksudnya, elektron valensi harus menerima energi dari luar untuk dapat melompati celah/sela energi dari bahan tersebut.⁽⁴⁾ Sela energi adalah pita energi yang berada antara pita valensi dan pita konduksi.

Apabila atom-atom dalam semikonduktor (silikon) bergabung membentuk padatan, lintasan sebuah elektron dipengaruhi oleh atom-atom yang berada didekatnya. Muatan-muatan yang berdekatan mempunyai pengaruh yang besar, akan tetapi muatan yang jauh pun akan sedikit berpengaruh pada lintasan sebuah elektron. Dengan perkataan lain, tingkatan energi dari masing-masing elektron dalam batas-batas tertentu ditentukan oleh setiap muatan dalam kristal. Setiap elektron mempunyai tempat (posisi) yang berbeda dalam kristal, sehingga tidak ada dua elektron yang mempunyai tingkatan energi yang sama. Gambar 2.1.a menunjukkan cara penggambaran tingkatan-tingkatan energi silikon pada temperatur nol mutlak dan diatas temperatur nol mutlak. Pada temperatur nol mutlak, dalam kristal silikon tidak ada elektron-elektron bebas, karena kristal ini tidak mempunyai energi yang cukup untuk melepaskan diri menuju ke pita yang lebih tinggi. Ruang kosong diantara pita energi valensi dan pita konduksi disebut pita terlarang (forbidden gap) karena ruang tersebut melukiskan tingkatan-tingkatan energi tidak stabil.⁽⁵⁾



Gambar 2.1 Pita energi dalam kristal silikon⁽⁵⁾

- a. Pada temperatur nol mutlak
- b. Diatas nol mutlak



Gambar 2.2 Fungsi distribusi Fermi sebagai fungsi energi pada beberapa temperatur ⁽⁶⁾

Elektron di dalam suatu kristal semikonduktor akan memiliki distribusi energi yang mengikuti pola distribusi Fermi-Diract. Gambar 2.2 menunjukkan hubungan antara distribusi Fermi sebagai fungsi energi pada beberapa temperatur. Pada suhu 0°K , dibawah energi Fermi ditempati elektron (probabilitas $f(E)=1$), tetapi diatas energi Fermi pasti tidak ditempati elektron (probabilitas ditempati elektron = 0). Sehingga pada suhu 0°K tidak akan ada elektron dengan energi yang lebih besar dari energi Fermi. Sedangkan untuk suhu lebih dari 0°K ($T > 0^\circ\text{K}$), maka ada elektron dibawah energi Fermi dengan probabilitas distribusi ferminya lebih dari nol ($f(E) > 0$), dan memiliki energi yang lebih besar dari energi Fermi. Jadi dengan pemanasan masih dimungkinkan untuk memperoleh elektron dengan energi yang lebih besar dari energi Fermi, sehingga memungkinkan terjadinya eksitasi termal. Secara matematis, fungsi distribusi Fermi-Diract dapat dinyatakan sebagai berikut⁽⁶⁾ :

$$f(E) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E_i - E_F}{kT}\right)} \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana, $f(E)$: fungsi distribusi Fermi-Diract

E_F : Tingkat energi fermi

E_i : Tingkat energi elektron

k : Konstanta Boltzman

T : temperatur mutlak

Apabila temperatur ambiens (temperatur dari lingkungan) lebih besar dari nol mutlak (-273°C), maka energi termal dapat menyebabkan atom-atom silikon bergetar. Makin tinggi temperatur ambiennya makin kuat getaran mekanik atom-atom tersebut. Getaran acak dari atom-atom silikon dapat melepaskan sebuah elektron dari pita valensinya. Apabila hal ini terjadi, elektron yang dilepaskan mempunyai cukup energi untuk memasuki tingkat energi yang lebih tinggi. Dalam tingkatan energi yang lebih tinggi, gaya ikat inti dapat diabaikan, sehingga elektron menjadi bebas. Akibatnya elektron itu dapat bergerak bebas dalam kristal dan mengakibatkan eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Akibat dari eksitasi ini maka pada pita valensi terjadi kekosongan elektron dan terbentuk hole, sedangkan pada pita konduksi terbentuk elektron. Semakin tinggi temperatur ambient, maka elektron yang masuk ke dalam pita konduksi akan semakin banyak.⁽⁵⁾

2.2.1 Semikonduktor intrinsik

Semikonduktor intrinsik adalah suatu bahan semikonduktor dalam bentuk yang sangat murni, dimana sifat-sifat kelistrikannya ditentukan oleh sifat-sifat asli yang melekat pada unsur itu sendiri. Energi sela antara pita valensi dan pita konduksi pada

suhu kamar adalah 1.09 eV untuk silikon dan untuk germanium 0.72 eV. Jadi bisa dikatakan bahwa semikonduktor adalah bahan yang energi selanya antara pita valensi dan pita konduksinya berada dalam orde 1 eV.⁽⁷⁾

Sela energi yang kecil ini memungkinkan terjadinya eksitasi termal, sehingga elektron-elektron bisa pindah dari pita valensi ke pita konduksi dengan melintasi pita terlarang. Pada keadaan suhu kamar terdapat banyak elektron yang memiliki cukup energi untuk melompat melewati pita terlarang menuju pita konduksi. Perpindahan elektron dari pita valensi ke pita konduksi tersebut meninggalkan muatan positif (hole) pada pita valensi. Hole mempunyai sifat seperti partikel-partikel yang dapat menghantarkan arus listrik karena dapat berpindah-pindah dan dianggap sebagai partikel bermuatan positif sebesar muatan elektron.

Dengan demikian banyaknya hole di dalam pita valensi adalah sama dengan banyaknya elektron dalam pita konduksi. Sehingga dapat didefinisikan bahwa semikonduktor intrinsik adalah semikonduktor yang jumlah elektron pada pita konduksi sama dengan jumlah hole pada pita valensi.

Bila pada semikonduktor intrinsik diberikan medan listrik pada kondisi diatas 0°K, maka elektron pada pita konduksi bergerak menuju ke anoda dan hole didalam pita valensi bergerak menuju katoda. Jadi dalam semikonduktor itu terdapat pembawa arus yaitu gerak elektron yang berlawanan dengan arah medan dan gerak hole yang berlawanan dengan arah gerak elektron atau dengan kata lain gerak hole searah dengan arah medan yang diberikan.

Jadi sifat-sifat semikonduktor intrinsik adalah sebagai berikut ⁽⁷⁾

- Jumlah elektron bebas sama dengan jumlah hole
- Hantaran arus disebabkan oleh elektron bebas dan hole

P_m : daya maksimum

P_{in} : daya masukan

q : muatan elektron

$q\psi_B$: energi potensial pada logam

$q\psi_s$: energi potensial pada semikonduktor

qV_{Bi} : energi potensial terpasang

ϕ_{BO} : tinggi potensial penghalang schotky

Φ_{ms} : selisih fungsi kerja logam-semikonduktor

Φ_m : fungsi kerja logam

Φ_s : fungsi kerja semikonduktor

ξ : selisih dasar pita konduksi dan tingkat fermi

r : jarak sumber cahaya ke titik pantau

S : luas bidang sel (cm^2)

T : temperatur mutlak

V : beda potensial

V_B : tegangan difusi

V_{oc} : tegangan open circuit

V_m : tegangan maksimum

w : lebar daerah deplesi

η : efisiensi sel surya

χ : afinitas elektron

χ_m : afinitas logam

χ_s : afinitas semikonduktor

DAFTAR GAMBAR

Gambar

2.1 Pita energi dalam kristal silikon	8
a. Pada temperatur nol mutlak.....	8
b. Diatas nol mutlak.....	8
2.2 Fungsi distribusi fermi sebagai fungsi energi pada beberapa temperatur	9
2.3 Salah satu atom Si diganti dengan atom fosfor sehingga terdapat satu elektron ekstra yang tidak berpartisipasi dalam ikatan kovalen.....	13
2.4 Pita tingkat energi pada bahan semikonduktor tipe-n.....	13
2.5 Salah satu atom Si diganti dengan atom Boron, sehingga salah satu ikatan kovalen kekurangan elektron.....	14
2.6 Pita energi pada bahan semikonduktor tipe-p.....	15
2.7 Grafik hubungan I-V.....	19
2.8 Pengaruh radiasi terhadap daya.....	23
2.9 Susunan perangkat sel surya MIS.....	24
3.1 Sistem deposisi ion plasma.....	32
3.3 Sistem tabung reaktor plasma.....	35
3.3 Skema penelitian.....	39
4.1 Perbandingan diagram pita energi sel surya susunan M-I-S dan M-S	46

DAFTAR TABEL

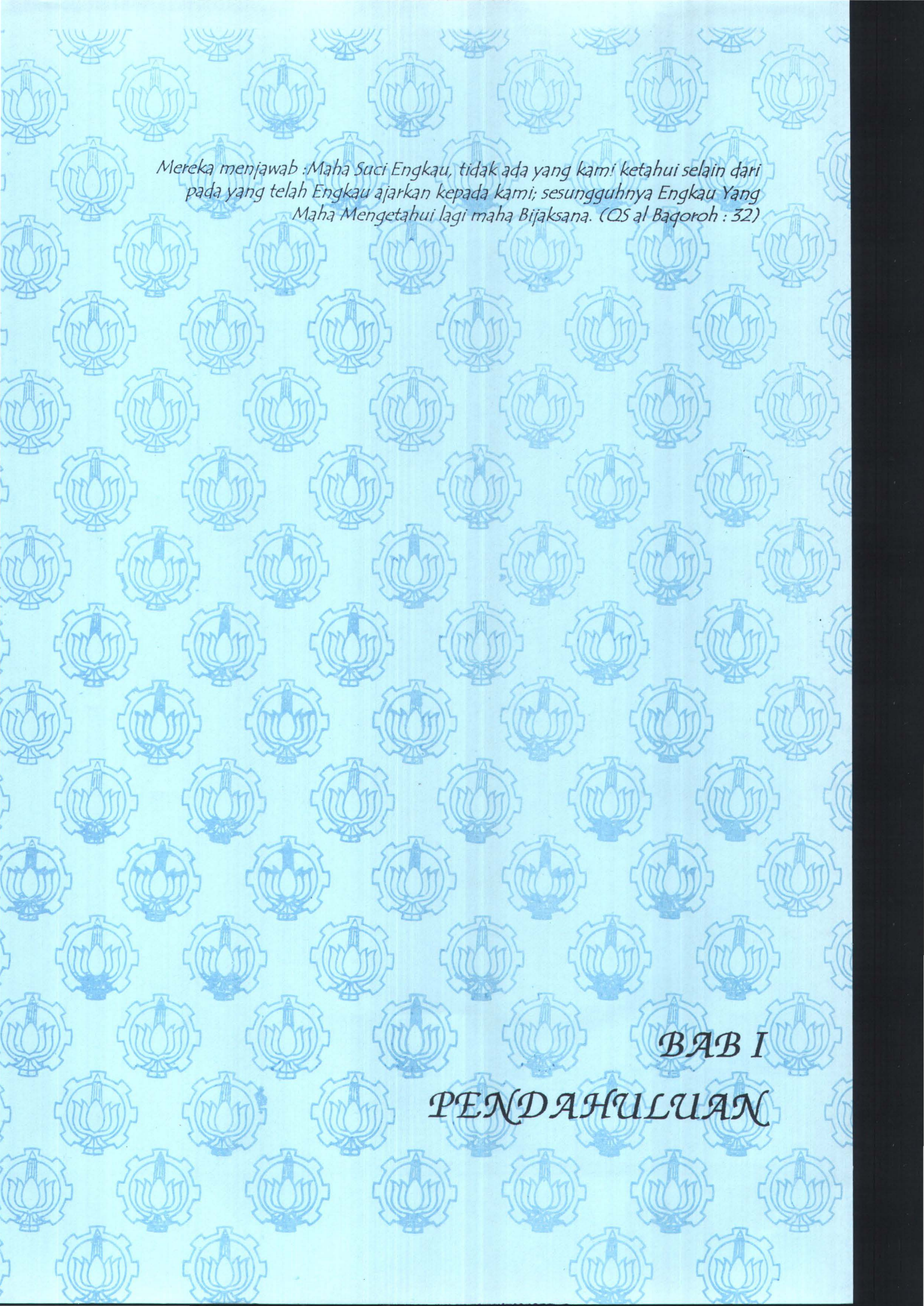
Tabel

3.1 Spesifikasi sampel silikon tipe-n (dengan pengukuran FPP 5000).....	28
3.2 Sifat kelistrikan bahan.....	29
3.3 Karakteristik teknis bahan.....	29
4.1 Pengaruh nilai resistivitas sebelum dan sesudah dideposisi.....	48
4.2 Harga parameter dari pengukuran C-V dari sel surya M-I-S.....	51
4.3 Pengaruh logam kontak terhadap arus keluaran.....	53
4.4 Data faktor pengisian sel surya M-I-S.....	56
4.5 Data perhitungan efisiensi sel surya M-I-S.....	57

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran

I. Sifat-sifat silikon intrinsik pada suhu 300 K.....	63
II. Gambar dan ukuran alat pengujian sel surya.....	64
III. Data kalibrasi alat uji sel surya.....	65
IV. Hasil pengujian kapasitansi-tegangan sel surya.....	69
V. Grafik hubungan kapasitansi-tegangan.....	70
VI. Grafik hubungan $1/C^2$ –tegangan.....	71
VII. Foto peralatan Sistem Deposisi Plasma	73



*Mereka menjawab :Maha Suci Engkau, tidak ada yang kami ketahui selain dari
pada yang telah Engkau ajarkan kepada kami; sesungguhnya Engkau Yang
Maha Mengetahui lagi maha Bijaksana. (QS al Baqoroh : 32)*

BAB I

PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Dewasa ini, permasalahan energi tampaknya akan menjadi topik yang hangat sepanjang peradaban umat manusia. Hingga sekarang bahan bakar yang banyak kita manfaatkan untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari adalah berasal dari dalam bumi, baik dari tumbuhan maupun hewan. Seiring peningkatan kebutuhan manusia akan energi, tentunya tidak bisa hanya mengandalkan sumber energi yang berasal dari bumi, mengingat energi tersebut lama kelamaan akan habis. Sehingga hal ini sangat mendorong manusia untuk mencari sumber energi alternatif. Tentunya sumber energi yang diharapkan adalah lebih ekonomis dan ramah lingkungan.

Bertambahnya kebutuhan untuk mengembangkan sumber energi yang ekonomis dan potensial telah menyebabkan timbulnya usaha untuk mengembangkan penelitian dalam bidang fotovoltaiik. Energi matahari yang sampai ke bumi sangat berlimpah, sehingga untuk bisa dimanfaatkan energi tersebut harus diubah menjadi energi listrik. Perangkat yang mampu mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik secara langsung disebut perangkat fotovoltaiik atau sel surya.

Perangkat sel surya dengan konfigurasi Metal-Insulator-Semikonduktor (M-I-S) telah banyak dikembangkan terutama dinegara maju tetapi hanya sedikit analisis yang melibatkan penggunaan polimer bahan organik toluena sebagai isolatornya. Selama ini telah banyak dikembangkan pemakaian silikon dioksida sebagai bahan isolator yang penting pada pelapisan semikonduktor, karena telah terbukti Silikon dioksida (SiO_2) merupakan isolator yang baik dan mudah ditumbuhkan terutama pada silikon. Tetapi seiring kemajuan teknologi dalam bidang elektronika khususnya ditemukannya bahan

baku semikonduktor dari golongan III-IV seperti galium arsenida, indium antimonida, indium arsen dan sebagainya, silikon dioksida yang mudah dibuat secara termal pada wafer silikon tidak cocok untuk semikonduktor golongan III-IV. Karena pembuatannya membutuhkan suhu diatas titik dekomposisi semikonduktor itu sendiri.

Berdasarkan alasan tersebut, maka saat ini dikembangkan pemakaian lapisan tipis bahan organik polimer (toluena) sebagai isolator untuk membuat komponen elektronika khususnya sel surya. Bahan organik toluena ini adalah peka terhadap cahaya dan merupakan isolator yang baik (tahan terhadap medan listrik yang tinggi)⁽¹⁾. Sampai sekarang hambatan utama untuk memanfaatkan perangkat organik toluena untuk sel surya adalah masih rendahnya efisiensi keluaran yang maksimal. Oleh karena itu pembuatan sel surya dari bahan organik ini akan terus dikembangkan, karena biaya produksi dan materialnya cukup murah.

Perangkat sel surya Metal-Insulator-Semikonduktor ini dibuat dengan cara mendeposisikan lapisan organik polimer toluena pada wafer silikon melalui metode polimerisasi plasma. Pemakaian plasma ini bertujuan untuk memperoleh lapisan yang homogen dan ketebalannya dapat terkontrol dengan baik. Ketebalan bahan organik sebagai isolator ini sangat berpengaruh terhadap efisiensi keluaran sel surya, karakteristik tegangan-arus dan kapasitas-tegangan. Jika lapisan isolatornya cukup tebal, maka kontak ini akan bersifat sebagai kapasitor, dan apabila lapisan ini sangat tipis maka perangkat ini akan menyerupai dioda schotky barrier, karena sedikit sekali lapisan yang menghalangi transport pembawa muatan antar logam semikonduktor. Sehingga ketebalan lapisan isolator untuk perangkat sel surya ini harus diperhitungkan.

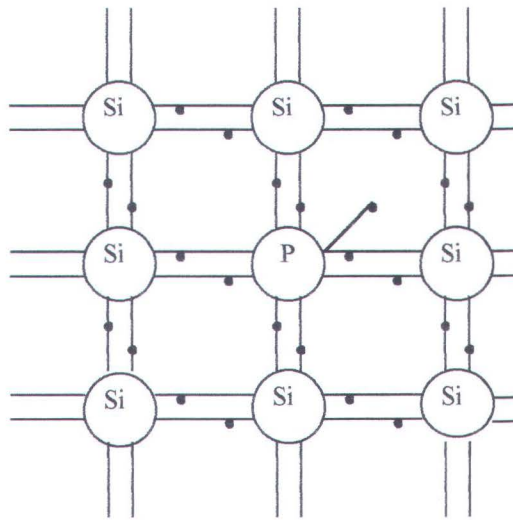
- Arah gerakan hole sama dengan arah polaritas medan listrik E dan berlawanan arah dengan pergerakan elektron.
- Umur rata-rata (average life time)nya adalah $\pm 100 - 1000$ detik atau lebih. Umur rata-rata dari sepasang elektron-hole sampai bertemunya elektron bebas dengan hole. Adapun yang mengisi hole pada umumnya adalah elektron yang terikat di lapisan sebelah bawahnya. Umur rata-rata dari pasangan elektron hole tergantung pada kemurnian bahan.

2.2.2 Semikonduktor ekstrinsik

Suatu cara untuk menaikkan konduktivitas bahan semikonduktor intrinsik adalah dengan memberikan pengotor / ketakmurnian (doping). Artinya dengan memberikan atom-atom takmurnian pada semikonduktor intrinsik dengan bahan yang mempunyai elektron valensi diatas atau dibawah semikonduktor intrinsik. Jadi semikonduktor ekstrinsik adalah semikonduktor yang tidak murni, karena sudah ditambahkan pengotor pada semikonduktor tersebut. Atas dasar tersebut semikonduktor ekstrinsik dibedakan menjadi dua yaitu :

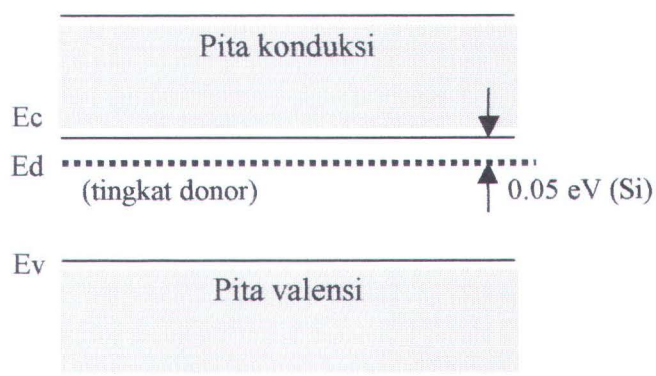
- Semikonduktor tipe N

Atom semikonduktor intrinsik yang bervalensi empat bila didoping dengan atom yang bervalensi lima atau pentavalen misalnya atom fosfor, atau arsen, maka empat dari lima elektron valensi itu akan membentuk ikatan kovalen dengan atom semikonduktor (Si atau Ge) sekitarnya, seperti pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Salah satu atom Si diganti dengan atom phosfor sehingga terdapat satu elektron ekstra yang tidak berpartisipasi dalam ikatan kovalen⁽⁸⁾

Pendopongan bahan semikonduktor oleh atom yang memiliki elektron valensi lebih besar dari semikonduktor intrinsik akan menghasilkan semikonduktor ekstrinsik tipe-n. Atom yang membentuk semikonduktor tipe-n ini disebut atom donor. Tingkat energi elektron donor lebih tinggi dari pada elektron pada semikonduktor intrinsik, dan terletak tepat dibawah pita konduksi, seperti yang terlihat pada gambar 2.4.

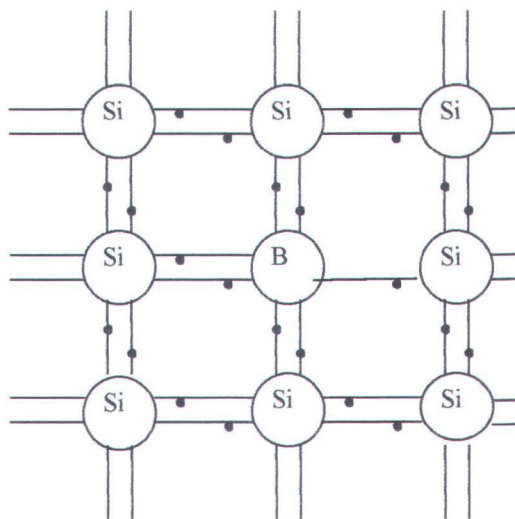


Gambar 2.4 Pita tingkat energi pada bahan semikonduktor tipe N⁽⁷⁾

Pendopingan dapat melalui proses pemanasan, sehingga akan terjadi penyesuaian diri dari dua macam atom yang berbeda valensinya dalam membentuk suatu molekul.

- Semikonduktor tipe P

Apabila atom semikonduktor intrinsik yang bervalensi empat didoping dengan atom yang bervalensi tiga atau trivalent misalnya atom boron dan atom aluminium, maka pada pencampuran ini menyebabkan kekurangan elektron atau kelebihan lubang (hole). Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut : apabila atom yang bervalensi tiga ini mengganti atom Si atau atom Ge dalam kisi, maka ketiga elektronnya segera membentuk ikatan kovalen (ikatan antar elektron valensi) dengan atom Si atau Ge disekitarnya. Karena pengotor itu dikelilingi oleh empat atom dalam kisi, maka salah satu atom Si atau Ge disekitar atom pengotor ini akan memiliki satu elektron tidak terikat, seperti terlihat pada gambar 2.5. Seperti halnya dengan tipe-n setelah didoping dilakukan pemanasan (annealing) sehingga setiap atom dapat menyesuaikan dirinya dengan baik dan kembali ke susunan semula.



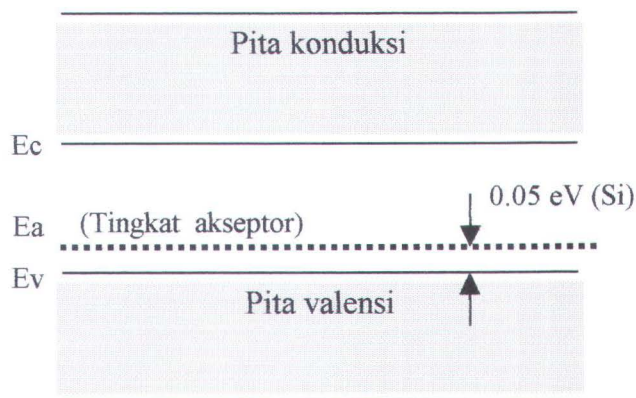
Gambar 2.5 Salah satu atom Si diganti dengan atom Boron, sehingga salah satu ikatan kovalen kekurangan elektron. ⁽⁸⁾

Akibat kelebihan hole (kekurangan elektron), maka hole ini akan menarik elektron dari atom yang berdekatan dan selanjutnya atom yang telah kehilangan elektron tersebut akan menjadi lubang. Dengan demikian, maka hole dapat berubah-ubah seakan-akan merupakan muatan listrik positif yang sedang bergerak.

Atom yang menyebabkan timbulnya hole dalam susunan kristal disebut atom akseptor dan jenis bahannya dinamakan semikonduktor tipe-P. Ada dua pembawa muatan pada semikonduktor tipe-p yaitu ⁽⁷⁾

- Hole sebagai pembawa mayoritas
- Elektron sebagai pembawa minoritas

Pada pita energi semikonduktor tipe-P terdapat atom-atom pengotor yang membentuk tingkatan energi diatas pita valensi disebut tingkat aseptor (E_a), seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 pita energi pada bahan semikonduktor tipe p ⁽⁷⁾

Pada suhu kamar, elektron-elektron mudah tereksitasi dari pita valensi menuju pita konduksi, yang menciptakan hole pada pita valensi dan menciptakan elektron pada pita konduksi yang dapat meningkatkan konduktivitas listrik.

2.3 Efek Fotovoltaik

Efek fotovoltaik adalah suatu peristiwa terciptanya muatan listrik didalam bahan sebagai akibat penyerapan (absorpsi) cahaya dari bahan tersebut. Photovoltaik berasal dari kata **Photos** dan **voltaic**. **Photos** berasal dari bahasa Yunani yang artinya cahaya, sedangkan **voltaic** diambil dari nama Alessandro Volta (1745 – 1827), seorang pelopor dalam mengkaji mengenai listrik. Sehingga fotovoltaik sering disebut listrik cahaya, atau biasa disebut sel surya, karena energi listriknya adalah berasal dari sinar matahari. Efek fotovoltaik dapat terjadi pada berbagai bahan tetapi pada bahan semikonduktor lebih cocok karena celah pita relatif sempit. Foton yang diabsorpsi oleh semikonduktor akan melepaskan energinya pada elektron yang ada pada pita valensi, yang mengakibatkan elektron tersebut akan berpindah ke pita konduksi. Berpindahnya elektron dari pita valensi ke pita konduksi mengakibatkan timbulnya lubang pada pita valensi, dan timbulnya elektron pada pita konduksi, sehingga terdapat pasangan elektron-lubang pada bahan tersebut. Apabila tidak ada gaya yang mempengaruhi, maka pasangan elektron-lubang tersebut akan bergerak acak yang menyebabkan terjadinya rekombinasi. Rekombinasi yaitu kembalinya elektron dari pita konduksi ke pita valensi, akibat adanya suatu pengotor dari bahan semikonduktor itu sendiri. Pemisahan elektron-lubang akan terjadi jika adanya medan elektrostatis terdapat didalam bahan. Medan elektrostatis bisa timbul didalam bahan, jika ada muatan statis pada bahan tersebut. Salah satu cara pemberian medan elektrostatis ini adalah dengan menggunakan metode pelapisan MIS (Metal Insulator Semikonduktor).

2.4 Sel Surya

Sel surya merupakan suatu mekanisme yang bekerja berdasarkan efek fotovoltaik dimana foton dari radiasi matahari diserap, kemudian dikonversikan

(diubah) menjadi energi listrik. Bagian yang paling penting dari sel surya adalah bahan semikonduktor, karena disinilah elektron akan dibangkitkan. Ada beberapa jenis material yang cocok untuk membuat lapisan semikonduktor, yang masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangan. Selain bahan semikonduktor, pada bagian atas sel surya terdapat lapisan yang membentuk grid dari bahan logam untuk mengumpulkan elektron dari semikonduktor dan menghantarkannya ke beban eksternal. Dibagian belakang semikonduktor terdapat lapisan logam sebagai kontak ohmik untuk melindungi peralatan.

Bahan dasar sel surya

Bahan dasar yang digunakan untuk sel surya adalah berasal dari bahan semikonduktor. Akan tetapi dari sekian banyak bahan semikonduktor, tidak semuanya bisa dipakai sebagai bahan dasar sel fotovoltaik. Hal ini mengingat beberapa pertimbangan penggunaan bahan dasar sel fotovoltaik yang meliputi segi kemudahan dalam produksinya, segi ekonomis, dan daya tahan yang lama. Adapun yang memenuhi pertimbangan tersebut antara lain, silikon, galium arsen, cadmium sulfida, cupro sulfida, dan lain-lain. Diantara bahan dasar yang merupakan semikonduktor, silikon merupakan bahan dasar sel fotovoltaik yang mencapai tingkat pemakaian yang sempurna karena silikon tersebut mempunyai efisiensi yang tinggi. Disamping itu persediaan bahan dasar tersebut sangat banyak sekali, yaitu sekitar 25 % kerak bumi terdiri dari Silikon, sehingga tidak dikhawatirkan akan kekurangan bahan dasar.

Silikon adalah suatu bahan semikonduktor yang dapat diklasifikasikan berkelakuan sebagai konduktor dan sebagai isolator tergantung dari energi selanya. Energi sela / energi gap adalah energi yang diperlukan untuk membebaskan ikatan elektron akibat temperatur (panas) ataupun energi foton. Berdasarkan energi sela, bahan

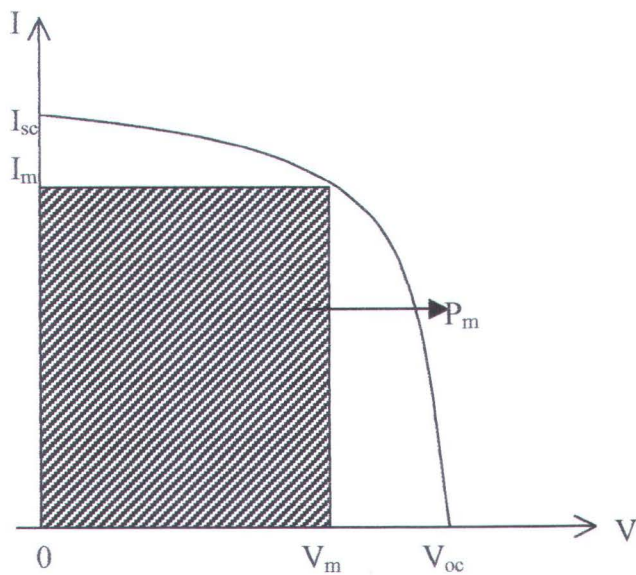
diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu bahan isolator, bahan semikonduktor dan bahan konduktor. Pengertian daripada masing-masing bahan tersebut adalah:

- Bahan isolator : adalah bahan yang mempunyai energi sela lebar, sehingga untuk memindahkan elektron-elektronnya diperlukan energi dari luar yang sangat besar.
- Bahan semikonduktor : bahan yang mempunyai energi sela relatif kecil, sehingga pada temperatur kamar (37 °C) sejumlah elektron dapat melepaskan diri dari ikatan kovalennya. Tetapi pada temperatur 0°K elektron tidak dapat berpindah tempat sehingga pada temperatur ini semikonduktor bersifat isolator.
- Bahan konduktor : Bahan-bahan yang mempunyai energi sela yang sangat kecil, bahkan tidak punya energi sela sehingga elektron-elektronnya mudah berpindah tempat.

Karakteristik sel surya

Karakteristik sel surya yang dimaksud adalah karakteristik listrik sel surya dari silikon. Sel surya dalam keadaan tanpa disinari (gelap) akan merupakan dioda biasa.

Pada umumnya, dalam proses fotovoltaiik sebuah sel surya menghasilkan tegangan antara 0.5 sampai 1 volt, tergantung dari bahan yang digunakan dan arus yang keluar tergantung dari intensitas radiasi matahari. Dari gambar 2.7 dapat dilihat karakteristik arus – tegangan dari suatu sel surya. Dari grafik dibawah terdapat tiga keadaan, yaitu I_{sc} , V_{oc} dan P_{mp} .



Gambar 2.7 Grafik hubungan I - $V^{(5)}$

Dari tiga keadaan tersebut dapat diterangkan :

1. Titik V_{oc} , menunjukkan pengoperasian tegangan terbuka (open circuit voltage). Dimana tahanan beban dibuat sedemikian hingga, sehingga merupakan tegangan terbuka (tanpa beban). Maka arus $I = 0$. Kondisi ini hanya sedikit terpengaruh terhadap tingkat pencahayaan tetapi menurun dengan naiknya temperatur.
2. Titik I_{sc} , menunjukkan keadaan pengoperasian arus hubung singkat (short circuit current) dimana tahanan beban perlahan-lahan dikurangi sampai menjadi nol sehingga $V = 0$. Kondisi ini berhubungan langsung dengan tingkat pencahayaan sinar matahari dan hampir tidak berkaitan dengan temperatur.
3. Titik P_m , merupakan titik daya maksimum dimana tahanan beban perlahan-lahan diturunkan sampai mencapai lutut (knee), yang merupakan titik perkalian arus dan tegangan maksimum.

Karakteristik Arus – tegangan (I-V) suatu sel surya dapat diberikan persamaan sebagai berikut⁽⁹⁾ :

$$I = I_s (e^{qV/kT} - 1) - I_L \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana, I_s : arus saturasi

I_L : arus konstan yang dihasilkan oleh cahaya datang = I_{sc}

Bentuk umum dari hubungan I-V ditunjukkan seperti pada gambar 2.7.

Berdasarkan grafik tersebut dapat didefinisikan daya keluaran maksimum P_m sebagai berikut : ⁽⁶⁾

$$P_m = V_m \cdot I_m \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana, V_m : tegangan keluaran maksimum

I_m : arus keluaran maksimum

Besarnya V_{oc} dapat ditentukan dengan persamaan

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_L}{I_s} + 1 \right) = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_L}{I_s} \right) \dots \dots \dots (2.6)$$

Sedangkan besarnya I_{sc} dirumuskan dengan,

$$I_{sc} = I_s (e^{qV_{oc}/kT} - 1) \dots \dots \dots (2.7)$$

Dengan mengacu pada persamaan 2.4, maka daya keluaran P , diberikan oleh persamaan sebagai berikut :

$$P = I \cdot V = [I_s (e^{qV/kT} - 1) - I_L] \cdot V \dots \dots \dots (2.8)$$

Pada keadaan daya maksimum dapat dicapai, jika $\partial p / \partial V = 0$, atau

$$\frac{d}{dV} [I_s V (e^{qV/kT} - 1) - I_L V] = 0 \dots \dots \dots (2.9)$$

Sehingga didapatkan persamaan,

$$V_m = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{1 + I_L / I_s}{1 + \beta V_m} \right) \approx V_{oc} - \frac{1}{\beta} \ln(1 + \beta V_m) \dots \dots \dots (2.10)$$

$$I_m = I_s \beta V_m e^{\beta V_m} \approx I_L \left(1 - \frac{1}{\beta V_m} \right) \text{ jika } \beta = q/kT \dots \dots \dots (2.11)$$

Satu dari keuntungan utama sel surya adalah keandalannya dan bentuknya yang fleksibel, sehingga memudahkan dalam membentuk suatu susunan yang diinginkan. Jika salah satu modul mengalami kerusakan, maka sistem pembangkit ini masih bisa berfungsi / beroperasi dengan hanya kehilangan sedikit energi. Ketika sel-sel surya dihubungkan secara seri maka voltase total sama dengan jumlah keseluruhan voltase sel surya, sementara arusnya tetap sama dengan arus dari satu sel. Untuk menentukan karakteristik I-V sel surya, maka dilakukan dengan menjumlahkan arus listrik dari semua sel surya (modul) pada tiap voltase (untuk modul yang paralel) dikurangi losses dari sambungan. Untuk sel-sel surya disusun secara seri, maka jumlah voltase dari sel-sel penyusun dikurangi penurunan voltase yang ada pada sambungan dihitung pada masing-masing tingkat arus listrik untuk menghasilkan kurva I-V.

Sensitivitas sel surya

Sensitivitas sel surya terhadap panjang gelombang sinar matahari cukup luas dari spektrum ultraviolet sampai spektrum infra merah. Sensitivitas terhadap radiasi difusi juga tinggi sekali, sehingga pada cuaca berawan juga dapat mengeluarkan daya.

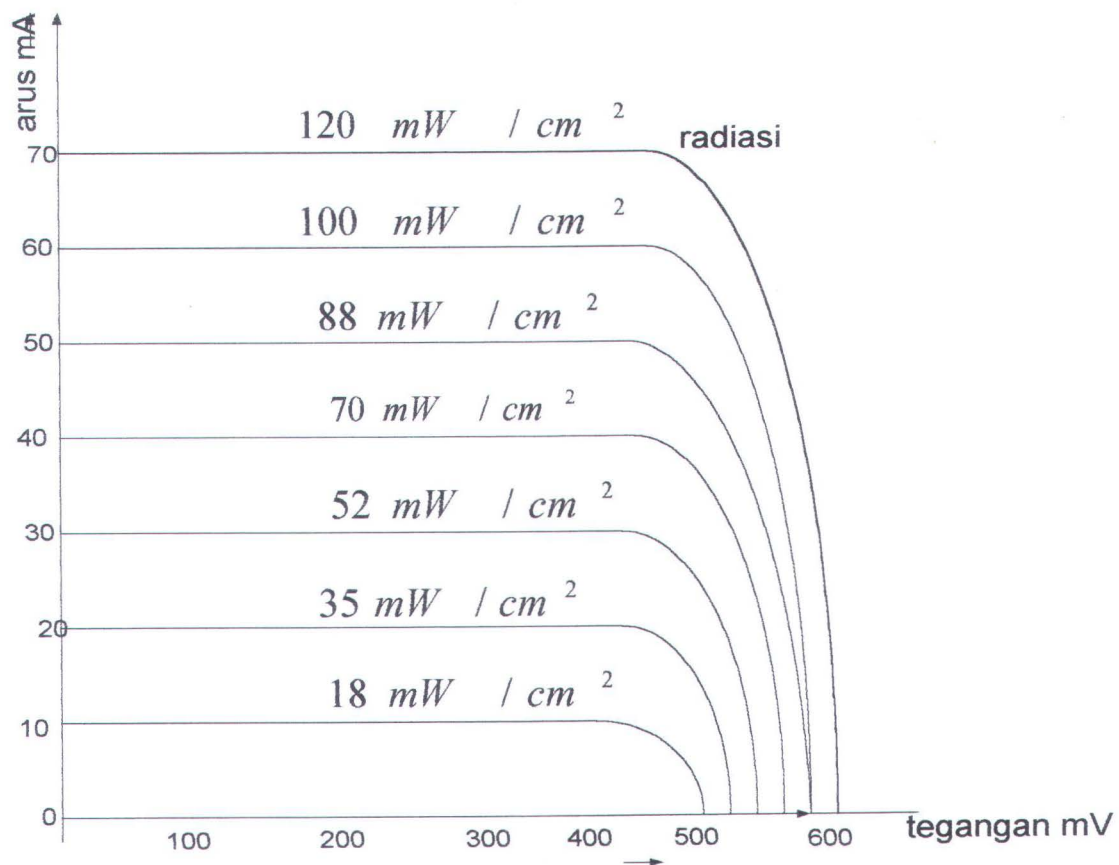
Pengaruh intensitas radiasi matahari

Pengaruh intensitas radiasi matahari terhadap daya yang dikeluarkan oleh sel surya dapat dilihat pada gambar 2.8. Dari gambar terlihat bahwa tegangan tidak begitu terpengaruh oleh radiasi matahari. Hanya intensitas radiasi yang terlalu rendah saja yang

akan mempengaruhi tegangan. Sehingga dapat dikatakan bahwa tegangan sel surya tidak berubah apabila sel surya tersebut diperluas atau diperkecil. Adapun arus dari sel surya sangat dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari. Sehingga arus akan menjadi lebih besar jika sel surya diperluas dan arus akan lebih kecil jika sel surya diperkecil. Titik-titik yang nampak pada kurva menunjukkan daya maksimum sel surya pada berbagai intensitas yang diterima.

Berbagai kelebihan yang menyebabkan fotovoltaiik sebagai pilihan daya dalam berbagai kebutuhan setiap hari, yaitu :

- Kehandalan yang tinggi
- Biaya operasionalnya rendah
- Ramah lingkungan
- Dapat disesuaikan dengan kebutuhan
- Biaya pemasangan rendah



Gambar 2.8 Pengaruh radiasi terhadap daya⁽¹⁰⁾

2.5 Struktur MIS (Metal-Insulator-Semiconductor)

Perangkat sel surya dengan susunan MIS (Metal Insulator Semiconductor) terdiri dari semikonduktor ekstrinsik yang berupa substrat silikon tipe-n atau tipe-p. Di permukaan semikonduktor ini dideposisikan lapisan tipis bahan organik toluene sebagai isolator. Pada penelitian-penelitian sebelumnya, lapisan isolator yang digunakan adalah lapisan SiO_2 , karena lapisan ini sangat mudah dikembangkan pada silikon. Tetapi pada penelitian ini, lapisan isolator yang digunakan adalah dari bahan organik toluene dengan metode deposisi berkas plasma. Dengan lapisan organik ini, ketebalan, densitas dan kehomogenitasnya dapat dikendalikan. Syarat bahan untuk lapisan isolator ini harus mampu melindungi peralatan dari pengaruh lingkungan.

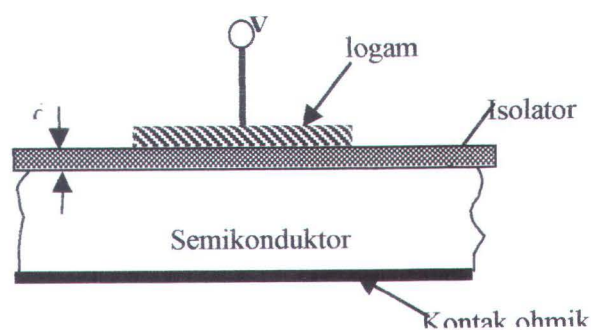
Diatas permukaan bahan organik dideposisikan kisi-kisi logam (metal grid) yang didesain sedemikian rupa sehingga hanya menutupi beberapa persen permukaan saja. Lapisan tipis kisi-kisi logam ini berfungsi sebagai kontak elektroda yang dapat membangkitkan medan listrik dari sel. Karena dengan adanya kisi-kisi logam ini, maka akan terjadi perbedaan potensial antara logam dan bahan semikonduktor.

Disisi belakang substrat silikon dilapiskan lapisan tipis logam sebagai kontak ohmik yang menutupi seluruh permukaan belakang sel. Kontak ohmik ini berfungsi sebagai gerbang yang menghubungkan sel surya ini dengan rangkaian luar. Syarat untuk bahan kontak ohmik adalah :

- tidak dapat mengubah impedansi pada komponen
- tidak akan menambah potensial penghalang
- tidak mengubah kesetimbangan pembawa muatan.

Lapisan antirefleksi dilapiskan pada permukaan depan, untuk meminimalkan pantulan sinar yang mengenai sel surya. Bahan yang digunakan untuk lapisan antirefleksi diharapkan mampu menurunkan indeks reflektansi sel, tidak menyerap cahaya yang jatuh, dan harus transparan supaya tidak menutupi komponen sel surya dari cahaya yang mengenainya. Dalam penelitian ini lapisan antirefleksi dipilih TiO_2 , karena lapisan ini memenuhi persyaratan tersebut.

Susunan sel surya MIS dapat ditunjukkan pada gambar 2.8. ⁽⁹⁾



Gambar 2.9 Susunan perangkat sel surya MIS ⁽⁹⁾

Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa d adalah ketebalan isolator bahan organik dan V adalah tegangan yang dihasilkan lempengan logam. Tegangan V akan positif apabila lempengan logam dibias positif dengan kontak ohmik dan V akan negatif jika lempengan logam dibias negatif dengan kontak ohmik.

2.6 Efisiensi Sel Surya

Apabila cahaya dengan intensitas tertentu jatuh pada permukaan sel surya, cahaya tersebut akan diabsorpsi dan terciptalah pasangan elektron-lubang. Pada akhirnya pasangan elektron-lubang yang tercipta akan muncul sebagai arus listrik. Besarnya konversi dari energi foton ke energi listrik ditentukan oleh efisiensi sel surya, η . Besarnya efisiensi tersebut dapat ditinjau dengan memahami mekanisme kehilangan energi yang terjadi dalam proses konversi. Sebelum foton memasuki semikonduktor, sudah terjadi kehilangan energi yang disebabkan oleh penutupan permukaan sel surya akibat adanya kontak logam dan juga diakibatkan oleh pantulan dari permukaan sel surya. Absorpsi cahaya terjadi di dalam bahan semikonduktor. Hanya energi yang lebih besar dari energi celah saja yang diteruskan, tetapi energi yang lebih kecil dari energi celah tidak diserap, karena tidak mempunyai energi yang cukup untuk menciptakan pasangan elektron lubang.

Efisiensi (η) didefinisikan sebagai perbandingan antara daya yang dihasilkan sel surya terhadap jumlah daya sinar (cahaya) yang terima. Secara matematis efisiensi sel surya dapat dirumuskan sebagai berikut ⁽¹¹⁾

$$\eta = \frac{P_m / \text{cm}^2}{P_{in} / \text{cm}^2} \dots\dots\dots(2.12)$$

$$\eta = \frac{V_{oc} \times I_{sc}}{P_{in} / S} FF \times 100\% \dots\dots\dots(2.13)$$

dimana,

V_{oc} : open circuit voltage (tegangan terbuka)

I_{sc} : short circuit current (arus hubung pendek)

FF : Faktor pengisi

P_{in} : Banyaknya energi yang diserap

S : Luas bidang sel (cm^2)

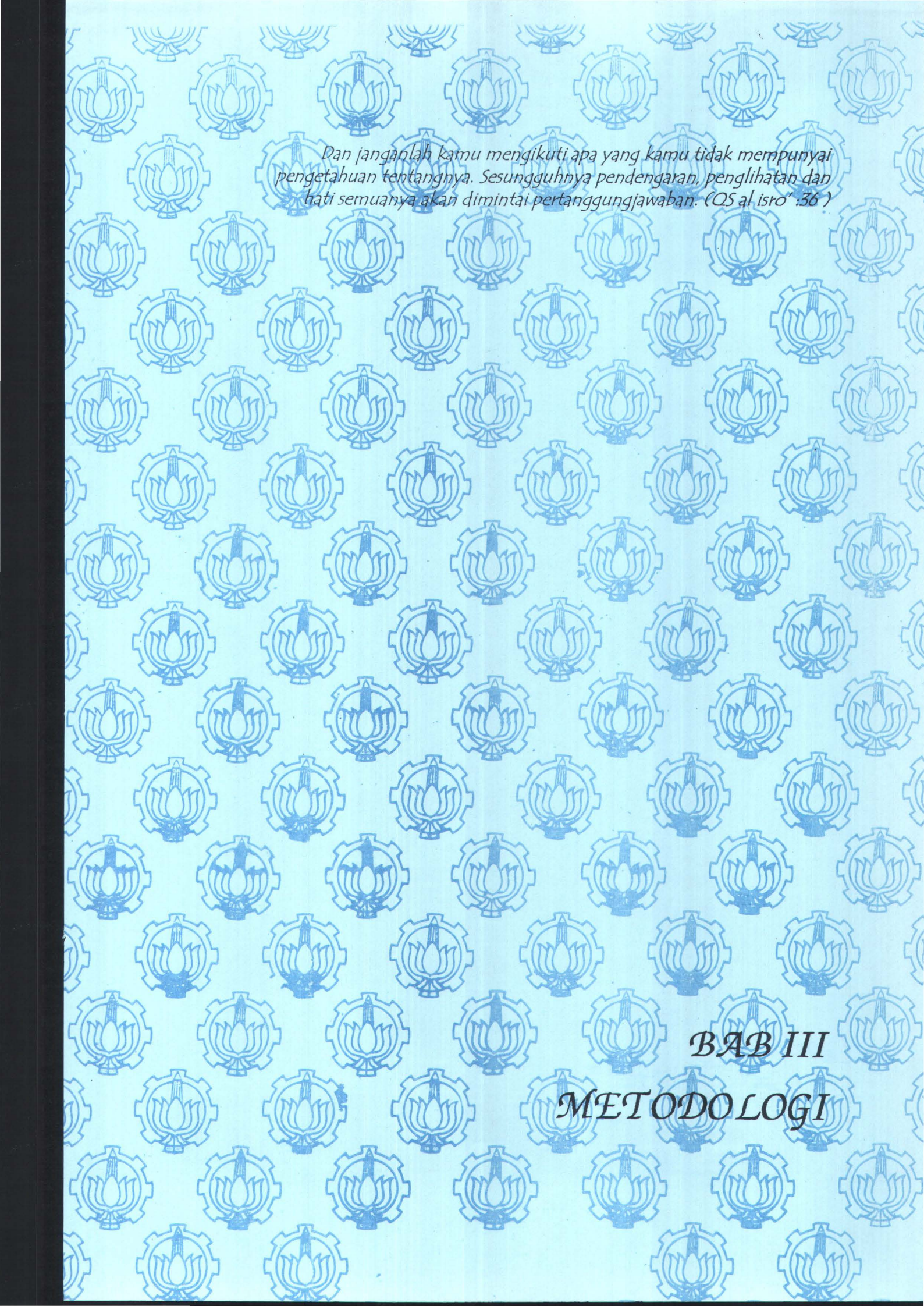
Fill Faktor (FF) adalah “squareness (kebujuaran)” perbandingan antara daerah yang dilingkupi (daya hasil perkalian tegangan dan arus maksimum) dengan daerah hasil perhitungan daya (hasil perkalian arus pendek dan tegangan terbuka).

$$FF = \frac{P_m}{V_{oc} \times I_{sc}} \dots\dots\dots(2.14)$$

2.7 Teknik Deposisi

Teknik deposisi adalah teknik yang digunakan untuk mendeposisikan plasma pada substrat atau bahan yang dikehendaki agar terjadi lapisan tipis. Ada beberapa teknik yang dikembangkan untuk mendeposisikan lapisan tipis diantaranya teknik evaporasi, teknik sputtering, dan teknik plasma lucutan pijar (glow discharge plasma). Pada pembuatan lapisan tipis bahan organik dengan toluene sebagai deposan, teknik yang dikembangkan adalah teknik plasma lucutan pijar. Untuk membuat lapisan tipis bahan organik ini dibutuhkan uap bahan organik toluene yang akan dibawa ke dalam reaktor plasma oleh gas argon. Reaktor plasma adalah tabung vakum yang berbentuk silinder sebagai tempat pembentukan ionisasi dan sebagai tempat pendeposisian.

Setelah adanya lucutan listrik karena adanya osilator medan RF (radio frekuensi), partikel gas akan mengalami ionisasi dan membentuk plasma. Plasma yang terbentuk akan didorong keluar dari kamar reaktor menuju ruang pendeposisian yang dihubungkan dengan pompa vakum. Dalam ruang pendeposisian terdapat tempat dudukan substrat (untuk meletakkan substrat) kemudian difokuskan oleh lensa Einzel dan dipercepat menuju substrat oleh daya tarik dari katoda. Diatas katoda ini diletakkan substrat yang akan dideposisi, sehingga mengakibatkan plasma terdepositasi pada permukaan substrat. Proses ini berlangsung terus-menerus sampai terbentuk lapisan tipis.⁽¹²⁾



Dan janganlah kamu mengikuti apa yang kamu tidak mempunyai pengetahuan tentangnya. Sesungguhnya pendengaran, penglihatan dan hati semuanya akan dimintai pertanggungjawaban. (QS al isro' :36)

BAB III

METODOLOGI

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Perangkat sel surya dengan susunan M-I-S dibuat dari substrat silikon tipe-n dimana lapisan organik toluene dideposisikan pada permukaan silikon, kemudian lapisan tipis logam emas, perak dan tembaga dengan kemurnian yang sangat tinggi (99,99%) dideposisikan pada permukaan organik toluene, sedangkan logam Aluminium dan Nikel dideposisikan pada permukaan silikon yang lain sebagai kontak ohmik. Adapun metodologi dari penelitian ini adalah meliputi bahan dan alat diuraikan secara lengkap dibawah ini :

3.1 Bahan dan Alat

3.1.1 Bahan-bahan yang digunakan meliputi :

- a. Silikon tipe-n yang berukuran $1 \times 1 \text{ cm}^2$. Sebelum dilakukan pendeposisian dengan bahan organik toluene, silikon tipe-n diuji terlebih dahulu menggunakan FPP 5000 untuk mengetahui resistivitas, resistansi, ketebalan dan kerataan. Hasil pengukuran FPP 5000 adalah sebagai berikut :

Tabel 3.1 Spesifikasi sampel silikon tipe-n (dengan pengukuran FPP 5000)

Sampel	V/I(Ω)	Sheet ($\Omega\text{-cm}^2$)	Slice ($\Omega \text{ cm}$)	Thick ($\text{\AA} \cdot 10^5$)
1	49.34 ± 0.02	223.6 ± 0.11	0.568 ± 0.003	4.47 ± 0.023
2	53.58 ± 0.05	242.6 ± 0.20	0.617 ± 0.005	4.12 ± 0.034
3	53.02 ± 0.37	235.0 ± 0.46	0.597 ± 0.009	4.17 ± 0.105
4	50.06 ± 0.04	226.8 ± 0.19	0.576 ± 0.005	4.41 ± 0.037
5	48.06 ± 0.03	221.8 ± 0.28	0.563 ± 0.007	4.46 ± 0.027
6	50.24 ± 0.03	227.6 ± 0.21	0.578 ± 0.003	4.39 ± 0.026
7	48.9 ± 0.09	221.6 ± 0.21	0.563 ± 0.005	4.51 ± 0.044
8	51.1 ± 0.16	231.8 ± 0.09	0.588 ± 0.002	4.32 ± 0.016

b. Bahan logam digunakan untuk kontak ohmik dan kontak elektroda. Bahan logam yang digunakan untuk kontak ohmik terdiri dari aluminium dan nikel, sedangkan untuk kontak elektroda terdiri dari logam emas, tembaga, dan perak. Adapun sifat listrik dan karakteristik bahan-bahan tersebut antara lain adalah sebagai berikut :

Tabel 3.2 Sifat kelistrikan bahan

Bahan	Fungsi kerja (eV)	Energi Ionisasi (kCal/gram)	Resistivitas Jenis ($\times 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$)
Al	4.18	138	2.40
Ni	4.50	176	6.80
Cu	4.25	178	1.67
Ag	4.42	175	1.59
Au	4.80	213	2.35

Tabel 3.3 Karakteristik Teknis Bahan⁽¹³⁾

Bahan	Lambang	Berat atom (gram/mol)	Densitas (gram/cm ³)	Titik lebur (°C)	Titik didih (°C)
Aluminium	Al	26.97	2.70	660	2056
Nikel	Ni	58.69	8.90	1452	2900
Tembaga	Cu	63.57	8.92	1083	2300
Perak	Ag	107.88	10.50	961	1950
Emas	Au	197.20	19.30	1063	2600
Silikon	Si	28.06	2.30	1410	2600
Tungsten	W	183.92	19.30	3370	5900
Molibdenum	Mo	95.95	10.20	2620	3700

c. Bahan organik Toluena

- Rumus molekul : $\text{C}_6\text{H}_5\text{-CH}_3$
- Berat molekul : 92,13 gr/ mol
- Berat jenis : 0.866 gr/ml
- Titik lebur : $-95\text{ }^\circ\text{C}$
- Warna : jernih/bening
- Titik didih : 110.8°C
- Tekanan uap (40°C) : 31.8 mmHg

d. Gas Argon

- Rumus atom : Ar
- Berat atom : 39.94 gr/mol
- Warna : Tidak berwarna
- Berat jenis : 1.40 gr/ml

e. Larutan Alkohol

- Rumus molekul : $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$
- Berat molekul : 60 gr/mol

f. Larutan asam fluorida

- Rumus molekul : HF
- Berat molekul : 19,9 gr/mol
- Konsentrasi : 5 %

g. Veroboard

h. Larutan decon

i. Gas nitrogen

j. Kawat

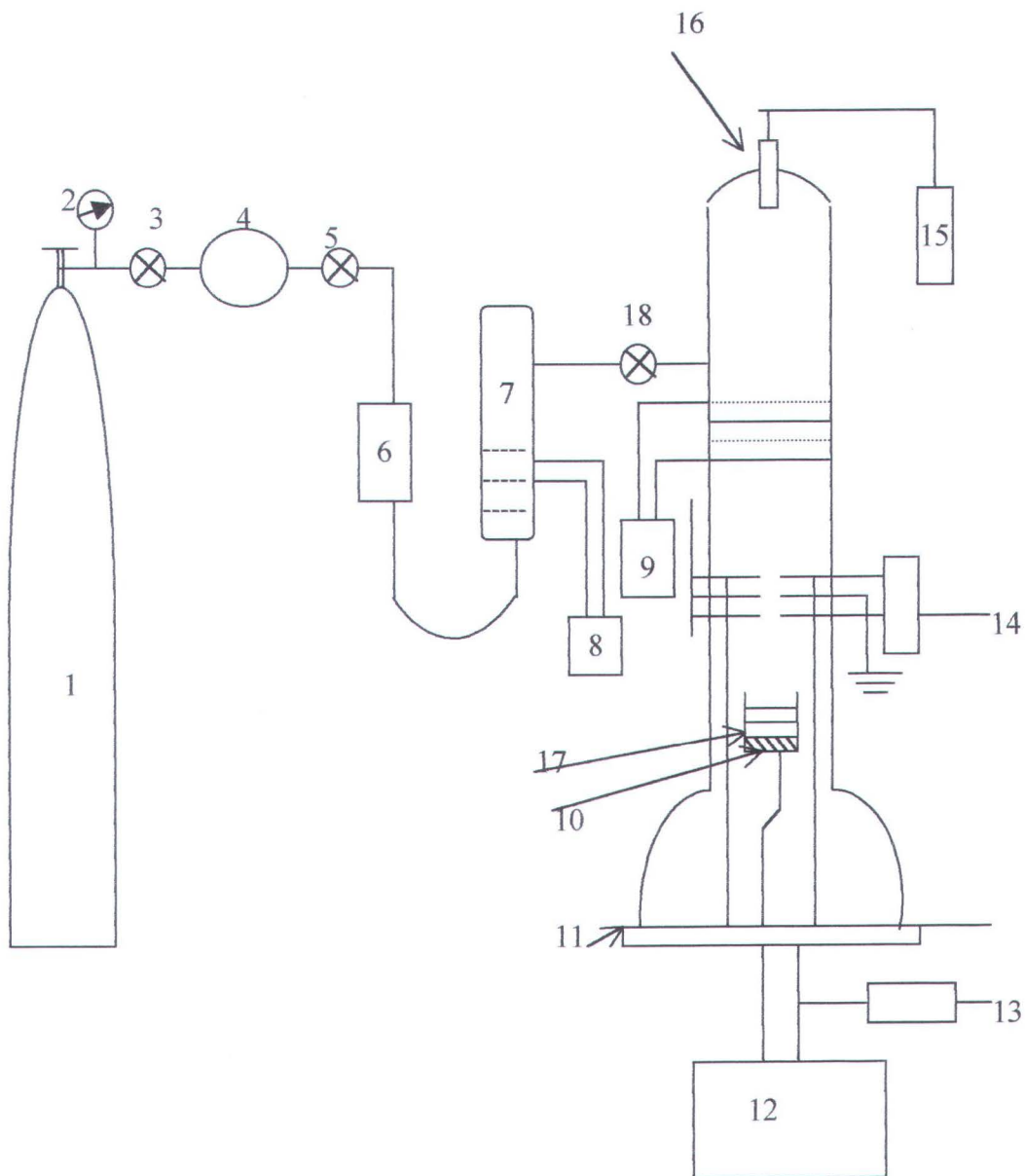
3.1.2 Peralatan yang digunakan terdiri dari :

- a. Sistem deposisi Plasma
- b. Sistem deposisi logam
- c. Sistem sputtering
- d. Sistem Four Point probe
- e. Sistem perangkat pengujian

3.1.2.1 Sistem deposisi polimerisasi plasma

Sistem deposisi plasma merupakan suatu sistem untuk mendeposisikan bahan organik ke dalam substrat an-organik. Bahan organik yang digunakan dalam penelitian ini adalah polimer toluena dan substrat an-organik yang dideposisi adalah semikonduktor, yaitu silikon tipe-n. Sistem deposisi plasma sangat efektif digunakan untuk pendeposisian lapisan tipis dalam pembuatan sel surya M-I-S. Karena dengan sistem ini parameter lapisan tipis mudah ditentukan karena ketebalan lapisan tipis ini sangat berpengaruh terhadap keluaran sel surya.

Skema sistem deposisi plasma dapat ditunjukkan seperti gambar 3.1 :



Gambar 3.1 Sistem deposisi ion plasma⁽¹²⁾

- | | | |
|---------------------|------------------------|-----------------------|
| 1. Tabung gas Argon | 8. Pemanas | 15. Tegangan Pemfokus |
| 2. Manometer | 9. Catu daya RF | 16. Anoda |
| 3. Katup | 10. Pemanas | 17. Target holder |
| 4. Bola | 11. Flange | 18. Mikrokran |
| 5. Katup | 12. Unit pompa vakum | |
| 6. Silika GEL | 13. Penning | |
| 7. Tabung toluena | 14. Tegangan pendorong | |

Sistem deposisi plasma terdiri dari tiga bagian utama yaitu sistem vakum, catu daya radio frekuensi dan reaktor plasma.

a. Sistem vakum

Sistem vakum merupakan sistem yang digunakan untuk mengkondisikan suatu keadaan menjadi hampa dengan meniadakan sisa molekul-molekul gas yang tidak diinginkan. Sehingga dalam pendeposisian ini sistem hanya berisi uap toluena dan gas argon. Untuk memperoleh kehampaan yang tinggi maka digunakan dua tahap dengan menggunakan dua buah pompa yaitu pompa difusi dan pompa rotari.

Pompa rotari digunakan sebagai sistem hampa tahap pertama dengan rentang kehampaan sampai 10^{-2} mbarr. Prinsip kerja pompa rotari meliputi penghisapan gas, pemampatan gas dan pengeluaran gas. Pompa difusi terdiri dari silinder penyelubung stainless steel tipis, yang didalamnya terdapat empat tingkat kerucut terpotong. Penyemprot satu sama lain saling tindih dan semakin keatas semakin ramping. Pada dinding penyelubung dililitkan pipa-pipa pendingin, sehingga uap minyak yang dipanaskan dapat terkondensasi, kemudian dipanaskan lagi dan seterusnya.

b. Catu daya radio frekuensi

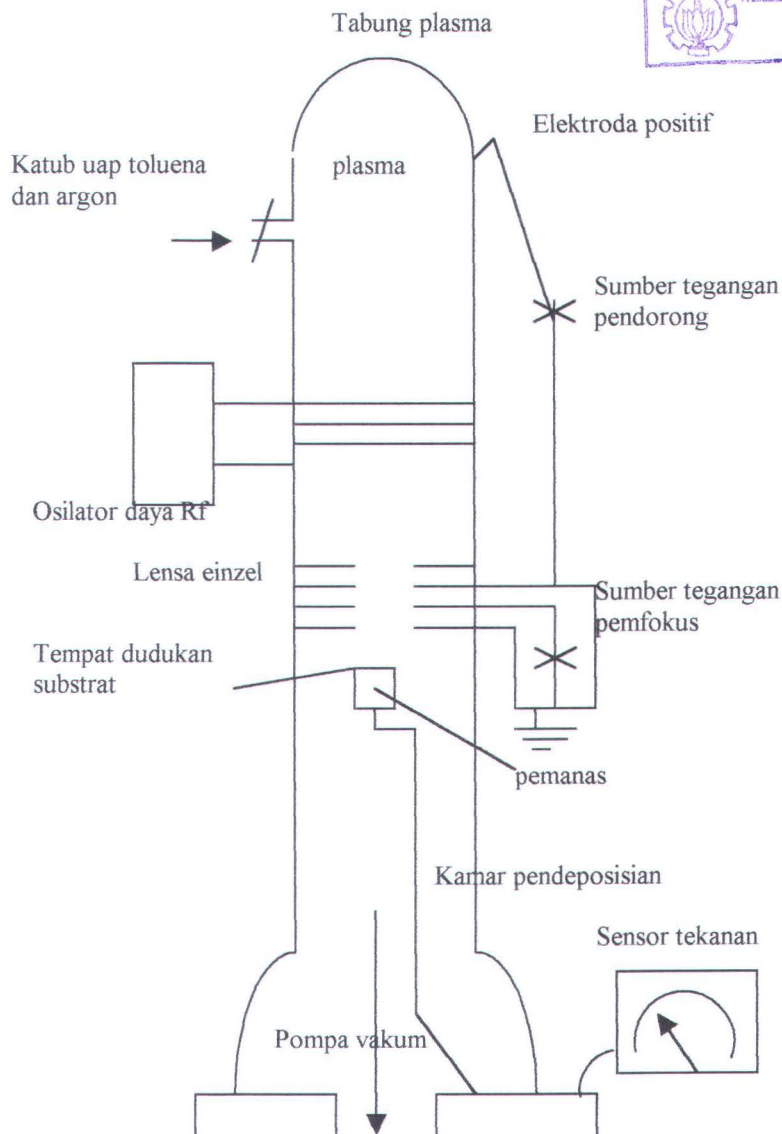
Catu daya radio frekuensi berguna untuk menyuplai daya yang memberikan gelombang elektromagnetik pada daerah frekuensi radio terhadap partikel-partikel gas

argon dan uap toluena untuk memicu terjadinya proses ionisasi dan pembentukan plasma dalam ruang reaktor. Catu daya ini mampu memberikan gelombang elektromagnetik pada gas dalam kamar reaktor melalui kawat yang dililitkan pada tabung reaktor, dan medan listrik dapat menembus tabung reaktor serta akan mengionisasi gas argon dan uap toluena.

c. Sistem tabung reaktor plasma

Sistem tabung reaktor plasma merupakan suatu tempat terjadinya proses ionisasi gas yang akan menghasilkan plasma dan tempat pendeposisian bahan organik yang telah terpolimer plasma.

Sistem tabung reaktor plasma terdiri dari dua bagian utama yaitu kamar reaktor dan kamar deposisi. Kamar reaktor merupakan tempat berlangsungnya ionisasi gas argon dan uap toluena serta tempat pembentukan plasma. Kamar reaktor ini juga dilengkapi dengan tegangan pendorong yang berfungsi untuk mendorong plasma menuju kamar deposisi melalui kanal keluaran yang terletak antara kamar reaktor dan kamar deposisi. Kamar deposisi merupakan tempat pendeposisian polimerisasi plasma ke dalam substrat semikonduktor. Dalam kamar deposisi terdapat lensa Einzel, tempat dudukan substrat dan pemanas substrat. Lensa Einzel berfungsi untuk mempercepat dan memfokuskan berkas ion, tempat dudukan substrat berfungsi sebagai tempat peletakkan substrat, sedangkan pemanas substrat berfungsi untuk memanaskan substrat sebelum substrat dilapisi bahan organik yang terpolimer oleh plasma. Gambar 3.2 menunjukkan sistem tabung reaktor plasma.



Gambar 3.2 Sistem tabung reaktor plasma⁽¹⁴⁾

3.1.2.2 Sistem deposisi logam

Sistem deposisi logam digunakan untuk membuat lapisan tipis logam, sebagai kontak elektroda pada perangkat sel surya M-I-S. Sistem ini terdiri dari ruang evaporasi, sistem vakum, tegangan tinggi DC dan penunjang lain.

Ruang evaporasi sistem deposisi logam terdiri dari :

- Sungkup, secara otomatis dapat membuka dan menutup dan diatur oleh kontrol panel
- Filamen, terbuat dari tungsten sebagai pemanas evaporan
- Pemegang sumber sebagai tempat evaporan yang akan dipanaskan
- Pemegang target sebagai tempat substrat silikon yang akan dilapisi.

Sistem vakum deposisi logam ini menggunakan pompa rotari dan pompa difusi, yang berfungsi untuk menghilangkan dan menghisap udara serta kotoran-kotoran lain yang masih terdapat dalam ruang evaporasi. Agar lapisan tipis dari uap evaporan dapat menempel pada substrat, maka tekanan yang digunakan harus tinggi, kira-kira dapat mencapai 10^{-6} mbar.

3.1.2.3 Proses sputtering

Teknik sputtering adalah teknik untuk memanfaatkan tenaga atom yang tinggi untuk melepaskan atom-atom target yang akan terdeposisi pada substrat. Jika bahan padat (target) dijadikan sasaran penembakan partikel berenergi tinggi maka atom-atom permukaan bahan memperoleh energi yang cukup untuk melepaskan diri dari permukaannya, dan proses ini disebut sputtering. Atom-atom yang terhambur dari permukaan akibat sputtering ini dapat digunakan untuk pendeposisian lapisan tipis pada substrat. Deposisi dengan teknik sputtering ini menggunakan plasma argon sebagai pembangkit ion mempunyai energi tinggi untuk menumbuk target sampai atom-atomnya lepas.

Terjadinya proses sputtering ini diawali oleh adanya tumbukan ion argon dengan atom-atom permukaan target dan diikuti tumbukan ke dua, ketiga, dan

seterusnya diantara atom-atom yang berada pada permukaan target, sehingga terjadi perpindahan atom-atom dan akan ada suatu tumbukan yang berhasil mengeluarkan atom permukaan target.⁽¹⁵⁾

Proses sputtering ini digunakan untuk mendeposisikan lapisan anti refleksi pada permukaan sel surya. Lapisan anti refleksi yang digunakan untuk perangkat sel surya ini adalah TiO_2 . Hal ini dimaksudkan agar refleksi sinar yang mengenai permukaan sel surya dapat diminimalkan.

Adapun peralatan sputtering ini terdiri dari tabung lucutan, pompa vakum, sumber tegangan tinggi DC, alat pengukur tekanan, sistem pemanas dan sistem pendingin.

- Tabung lucutan.

Tabung lucutan sebagai tempat proses terjadinya pendeposisian lapisan tipis. Tabung ini berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm, tinggi 30 cm, dan terbuat dari bahan stainless steel dan didalamnya ada dua elektroda (anoda dan katoda) yang dipasang paralel.

- Sistem vakum

Dalam proses sputtering, dibutuhkan suatu kondisi tekanan yang sangat rendah (vakum) agar tidak terjadi pengotoran pada lapisan yang dihasilkan. Oleh karena itu dibutuhkan pompa vakum bertekanan rendah, disamping untuk membersihkan tabung lucutan dari gas pengotor, sehingga dihasilkan lapisan yang bersih. Ada dua jenis pompa vakum yang digunakan, yaitu pompa rotari dan pompa difusi.

- Sistem tegangan tinggi DC

Sistem tegangan tinggi digunakan untuk menyuplai tegangan kedalam tabung lucutan sehingga terjadi beda tegangan antara katoda dan anoda, yang dapat menimbulkan medan listrik untuk mengionisasi gas argon.

- Alat pengukur tekanan

Pengukur tekanan digunakan untuk mengetahui besarnya tekanan dalam tabung lucutan setelah tabung divakumkan. Alat ini dihubungkan dengan sistem vakum rotari yang berhubungan langsung dengan tabung lucutan dan sistem difusi.

3.1.2.4 Four Point Probe

Four Point Probe (FPP) digunakan untuk mengukur resistivitas dari suatu bahan. Selain itu digunakan untuk mengukur ketebalan dari suatu bahan dan menentukan tipe positif atau negatif dari suatu semikonduktor.

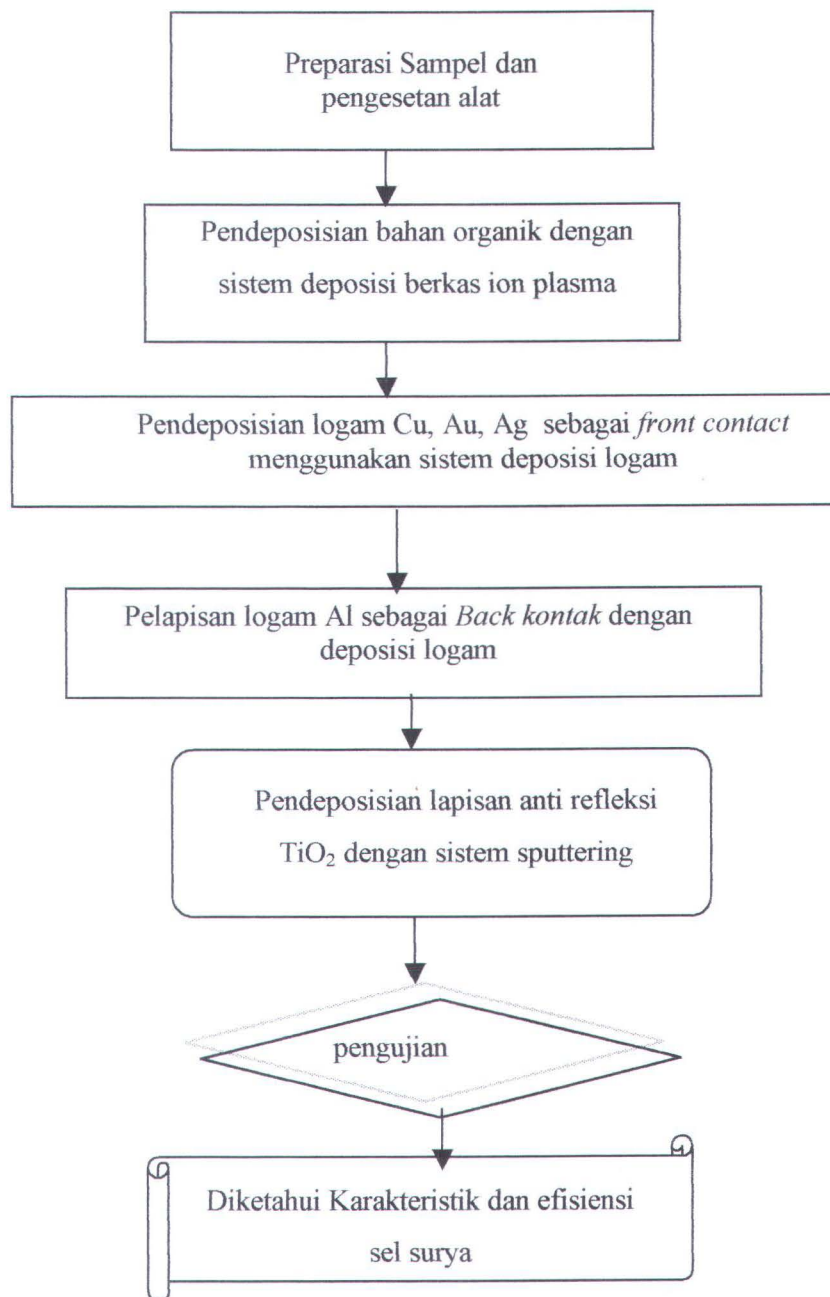
3.1.2.5 Perangkat pengujian

Perangkat pengujian ini digunakan untuk menguji analisa keluaran sel surya M-I-S. Karakterisasi dilakukan pada sel surya untuk mengetahui nilai dari variable-variabel berikut :

- Resistivitas sel surya yang dihasilkan sebelum dan sesudah pendepositan.
- Besar arus rangkaian pendek dan tegangan rangkaian terbuka.
- Besar arus dan tegangan maksimum yang dihasilkan.

3.2 Skema Penelitian

Dalam pembuatan dan karakterisasi sel surya M-I-S ini menggunakan bagan alur atau skema penelitian sebagai berikut:



Gambar 3.3 Skema penelitian

3.2.1 Preparasi sampel dan pengesetan alat

Preparasi sampel ini meliputi penyiapan dan pembersihan bahan. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa substrat silikon tipe n. Kemudian substrat silikon dipotong dengan ukuran $1 \times 1 \text{ cm}^2$ dan dicuci dengan menggunakan larutan kimia decon 2% untuk menghilangkan lemak atau minyak yang ada di permukaan. Selanjutnya substrat silikon dibilas dengan de-ionized water menggunakan pembersih ultrasonik untuk menghilangkan larutan kimia decon yang menempel dikeping silikon. Kemudian keping silikon dimasukkan ke dalam larutan asam fluorida 5% sebentar untuk menghilangkan lapisan oksida yang ada di permukaan. Setelah itu substrat silikon dicuci kembali dengan menggunakan de-ionized water untuk menghilangkan larutan asam fluorida yang masih menempel. Untuk mengeringkan, lapisan silikon ditiup dengan gas nitrogen.

Untuk penggunaan alat-alat seperti sistem deposisi polimerisasi ion plasma, sistem deposisi logam dan sputtering harus di-set terlebih dahulu seperti pada gambar 3.1, dan gambar 3.2.

3.2.2 proses pendeposisian bahan organik dengan sistem deposisi plasma

Untuk pendeposisian bahan organik ini, digunakan variasi waktu deposisi yaitu meliputi 5, 10 dan 15 menit. Sehingga bahan organik yang terdeposisi akan mempunyai ketebalan yang berbeda, karena ketebalan bahan organik yang terbentuk merupakan fungsi waktu.

Adapun proses pendeposisian bahan organik adalah sebagai berikut :

1. Meletakkan substrat yang telah dicuci pada tempat dudukan substrat.
2. Memvakumkan ruang deposisi sampai pada tekanan $0.8 \cdot 10^{-2}$ mbar.

3. Memanaskan cairan toluena sampai pada suhu 40 °C. Pemanasan ini dimaksudkan untuk mencapai titik jenuh supaya toluena mudah dibawa oleh gas argon.
4. Pada saat tekanan dalam ruang deposisi sudah mencapai $0,8 \cdot 10^{-2}$ mbar, katup pengalir gas argon dibuka kemudian dialirkan pada tabung silika gel untuk menyerap uap air yang mungkin terbawa oleh gas argon.
5. Mengalirkan gas argon dalam tabung toluena. Gas argon dan toluena yang masuk akan mendapat energi dari penyerapan gelombang elektromagnetik radio frekuensi maupun dari peristiwa tumbukan antar partikel. Jika penyerapan energi melebihi ambang, maka gas akan mengalami ionisasi dan selanjutnya akan membentuk plasma.
6. Membuka katup aliran gas pada ruang deposisi dan menjaga tekanan operasi pada tekanan $5,4 \cdot 10^{-2}$ mbar.
7. Menyalakan generator RF pada daya 60 watt
8. Mengoperasikan tegangan pendorong pada 650 V.
9. Mengatur tegangan lensa einzel pada 200 V
10. Memvariasi waktu deposisi selama 5, 10 dan 15 menit.

3.2.3 Proses deposisi logam

Setelah substrat silikon terdeposisi oleh bahan isolator organik maka substrat dideposisi dengan logam. Deposisi logam ini dilakukan sebanyak dua kali, yaitu ;

- Pelapisan dengan logam Al dan Ni sebagai kontak belakang, untuk melindungi sel surya dari pengaruh luar dan sebagai penghubung sel surya dengan rangkaian luar.
- Pelapisan sebagai kontak elektroda dengan menggunakan logam perak (Ag), tembaga (Cu) dan emas (Au). Logam elektroda digunakan untuk

menghasilkan medan listrik yang mendorong photoelektron agar keluar dari sel surya menuju rangkaian luar (eksternal).

Adapun langkah-langkah untuk pendeposisian logam sebagai kontak ohmik dan kontak elektroda adalah sebagai berikut :

1. Bagian belakang substrat silikon dilapisi logam Al dan Ni sebagai kontak ohmik.
2. Bahan untuk kontak ohmik dimasukkan ke dalam mangkok atau disebut pemegang sumber dari bahan tungsten (W).
3. Bagian yang tidak ingin dilapisi ditutup dan bagian yang ingin dilapisi diletakkan menghadap ke mangkok tungsten.
4. Menutup ruang deposisi dan memvakumkan sampai tekanan 10^{-5} mbar.
5. Menghidupkan alat pemanas logam sampai mencapai titik lebur Al/Ni.
6. Jika logam telah menguap yang ditandai dengan lenyapnya logam Al atau Ni dari mangkok, maka proses deposisi dihentikan.
7. Kemudian untuk pendeposisian logam sebagai kontak elektroda, keping silikon yang telah dideposisi dengan logam Al / Ni posisinya dibalik, sehingga lapisan organik menghadap mangkok tungsten.
8. Menutup lapisan yang telah dikontak ohmik agar tidak terlapisi oleh uap logam “kontak elektroda” dan untuk pembuatan elektroda digunakan cetakan yang berbentuk kisi biasa disebut masking.
9. Mengganti mangkok tungsten dengan yang baru dan diisi dengan logam yang akan dideposisi.
10. Proses selanjutnya sama dengan proses pendeposisian kontak ohmik.

3.2.4 Proses deposisi dengan sputtering

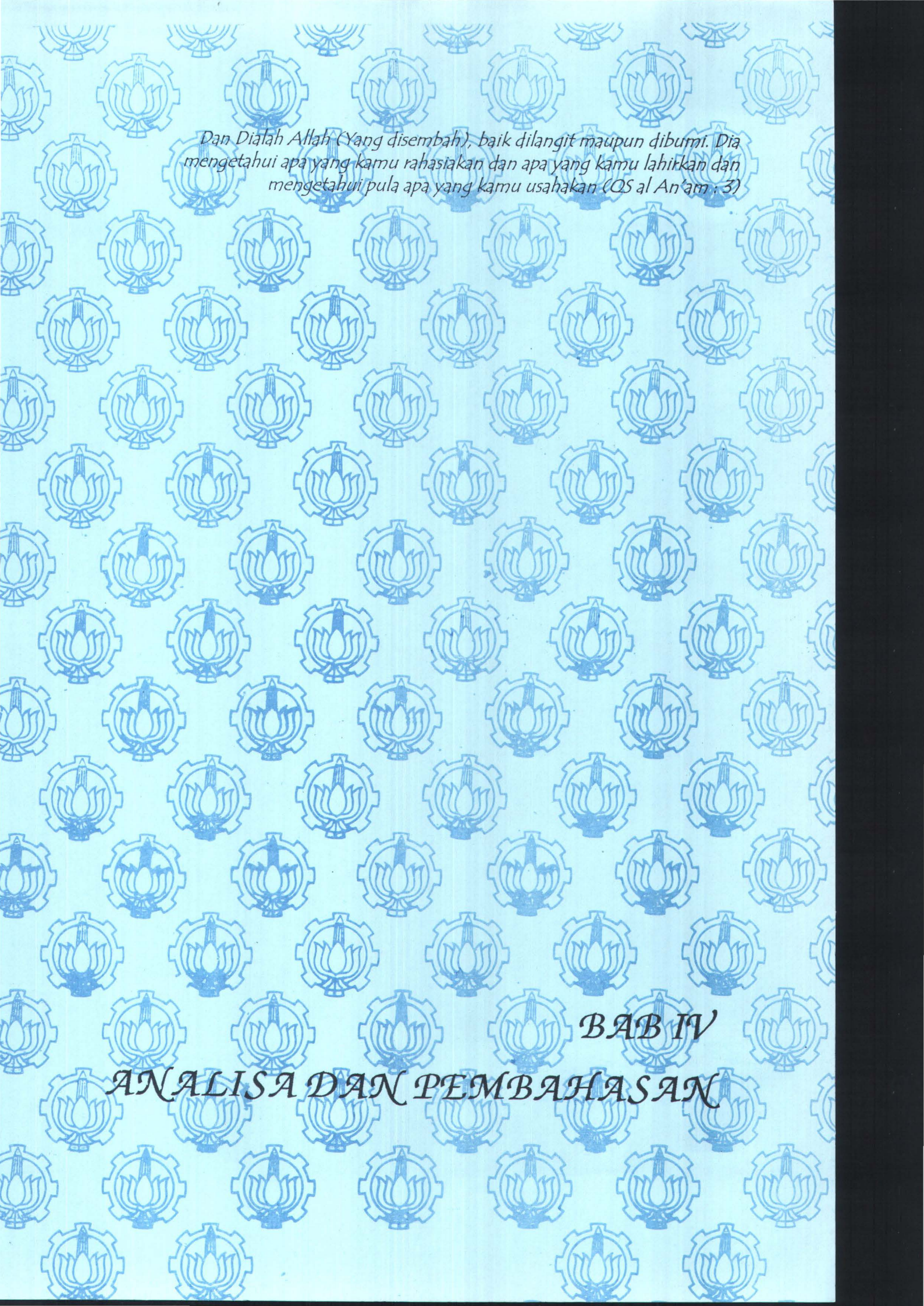
Proses sputtering digunakan untuk melapiskan lapisan antirefleksi pada permukaan sel surya. Lapisan antirefleksi dalam penelitian ini berfungsi untuk meminimalkan adanya refleksi sinar yang mengenai sel surya.

Adapun langkah-langkah pendeposisian dengan metode sputtering adalah sebagai berikut :

1. Meletakkan cuplikan di anoda.
2. Menghampakan tabung lucutan dengan menghidupkan pompa rotari hingga dicapai tekanan antara $3 \cdot 10^{-2}$ sampai $3,4 \cdot 10^{-3}$ mbar. Kemudian dilanjutkan dengan pompa difusi hingga mencapai kondisi vakum tinggi (sekitar 10^{-5} mbar).
3. Mengatur jarak elektroda yaitu 1,5 m dengan cara menarik pengatur jarak elektroda yang terdapat diatas anoda.
4. Mengalirkan air sebagai pendingin target.
5. Mematikan pompa difusi kemudian mengalirkan gas argon kedalam sistem hingga mencapai tekanan kerja yaitu $6 \cdot 10^{-2}$ mbar.
6. Menghidupkan sistem tegangan tinggi DC dengan memutar pengatur tegangan sesuai dengan tegangan kerja, yaitu tegangan terukur lebih dari 4 kV dan arus sekitar 7,5 mA.
7. Setelah mencapai waktu yang ditentukan, matikan sistem tegangan tinggi DC, dan diikuti dengan mematikan semua sistem.
8. Mengeluarkan cuplikan dari sistem kemudian dimasukkan kedalam plastik klip.

3.2.4 Pemasangan kawat

Setelah proses pelapisan logam selesai dilakukan, kawat yang sangat lembut kira-kira diameternya 0.01 mm ditempelkan pada lapisan tipis logam untuk mengamati unjuk kerja dari perangkat sel surya yang dibuat. Supaya kawat dapat melekat pada perangkat sel surya, maka digunakan cat konduktif perak. Pemasangan ini harus dilakukan dengan hati-hati karena luas penampang logam elektroda ukurannya sangat kecil, selain itu cat konduktif perak harus tidak menempel diluar daerah elektroda logam. Jika cat konduktif perak telah kering, perangkat sel surya tersebut diletakkan pada sekeping “veroboard”, kemudian kawat perak dihubungkan dengan kawat tembaga yang sudah disolder pada “veroboard”. Hal ini dilakukan untuk mencegah agar supaya perangkat sel surya yang dibuat tidak mudah rusak karena hubungan kawat perak dengan perangkat elektronik yang dibuat mudah rusak.



Dan Dialah Allah (Yang disembah), baik dilangit maupun dibumi. Dia mengetahui apa yang kamu rahasiakan dan apa yang kamu lahirkan dan mengetahui pula apa yang kamu usahakan (QS al An'am : 3)

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

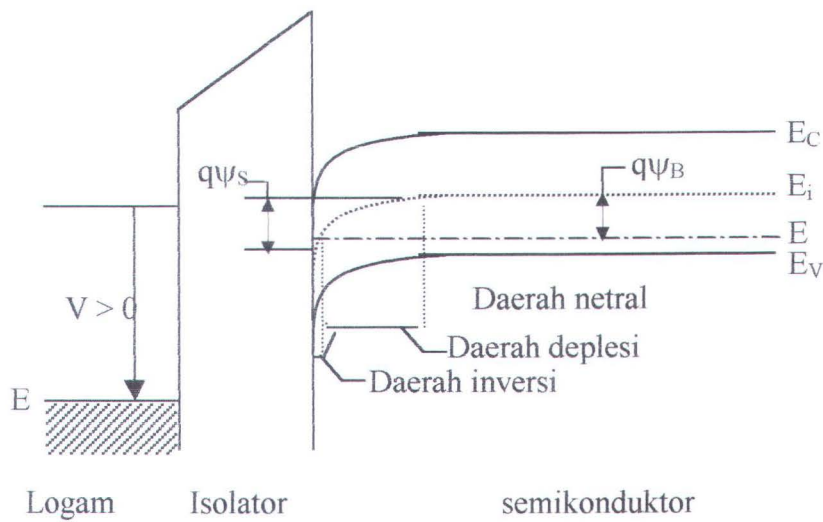
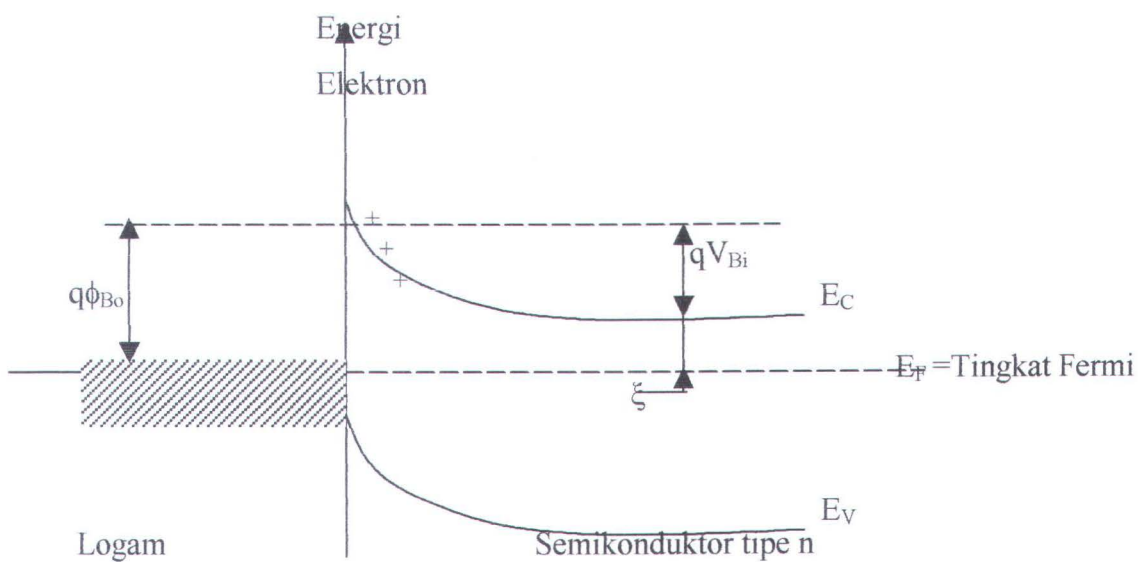
4.1 Pengaruh lapisan isolator terhadap sel surya M-I-S

Lapisan isolator pada sel surya M-I-S ini dideposisikan dengan menggunakan bahan organik toluene ($C_6H_5-CH_3$) pada permukaan silikon tipe N. Sistem M-I-S ini pada dasarnya adalah sama dengan sistem M-O-S, tetapi pada M-I-S isolator yang digunakan bukan dari bahan oksida, tetapi dalam hal ini digunakan isolator dari bahan organik toluene.

Lapisan isolator dalam susunan M-I-S ini berfungsi untuk :

- Sebagai pelindung bagi perangkat M-I-S, yaitu untuk mencegah terhadap masuknya ketidakmurnian ke dalam bagian yang tidak dikehendaki, dan juga untuk mengurangi adanya kontak antara silikon dengan oksigen / udara bebas, karena silikon mudah sekali bereaksi dengan oksigen.
- Menaikkan besarnya potensial penghalang (Barrier Potensial) pada komponen M-I-S sehingga bocoran arus akibat dari efek penerowongan (Tunneling Effect) dapat dikurangi. Dengan berkurangnya efek penerobosan, maka efisiensi sel surya yang dihasilkan dapat meningkat.

Pada sel surya sistem M-I-S, pola aliran pembawa muatan sangat ditentukan oleh posisi relatif tingkat energi logam terhadap bahan semikonduktor. Pembentukan lapisan isolator pada sel surya sistem M-I-S ini didasarkan pada analisis pita energi pada sistem Metal-Semikonduktor (M-S). Dibawah ini ditunjukkan perbandingan diagram pita energi antara Metal-Semikonduktor dan Metal-Insulator-Semikonduktor.

a. Sistem M-I-S⁽⁹⁾b. Sistem M-S⁽²⁾

Gambar 4.1 Perbandingan diagram pita energi sel surya susunan M-I-S dan M-S (Metal Semikonduktor)

Dalam sel surya M-S (Schotky Barrier), pengumpul muatan medan internal, dibangkitkan oleh perbedaan fungsi kerja antara logam dan semikonduktor. Untuk sel surya ini, aliran pembawa muatan sangat ditentukan oleh $q\phi_{Bo}$ dan qV_{Bi} . $q\phi_{Bo}$ adalah

besarnya potensial penghalang yang harus dilalui pembawa muatan pada logam untuk mengalir menuju semikonduktor. Sedangkan qV_{Bi} menunjukkan besar potensial penghalang yang dilalui pembawa muatan untuk mengalir dari semikonduktor menuju ke logam. Sedangkan ξ adalah perbedaan energi antara tingkat fermi dengan pita konduksi semikonduktor. Pembawa muatan akan mudah mengalir dari logam menuju ke semikonduktor, apabila $q\Phi_{Bo} < qV_{Bi}$. Demikian juga sebaliknya apabila $q\Phi_{Bo} > qV_{Bi}$, maka pembawa muatan akan mudah mengalir dari semikonduktor menuju ke logam.

Berdasarkan teori mekanika kuantum, apabila energi partikel yang dibutuhkan untuk menumbuk penghalang lebih kecil dari pada energi potensial penghalangnya, maka partikel itu mempunyai peluang untuk menerobos melaluinya, walaupun partikel itu tidak mempunyai energi yang cukup. Semakin tinggi dan lebar suatu penghalang, maka peluang partikel untuk menerobos penghalang itu akan semakin kecil.⁽¹⁶⁾ Sehingga berdasar teori ini, apabila pembawa muatan dari logam menuju semikonduktor lebih besar daripada pembawa muatan dari semikonduktor menuju logam ($q\Phi_{Bo} < qV_{Bi}$), maka hal ini akan menyebabkan efek penerobosan apabila terjadi aliran pembawa muatan dari semikonduktor menuju logam. Adanya efek penerobosan ini akan menyebabkan penurunan efisiensi sel surya melalui mekanisme :

- menaikkan laju rekombinasi pasangan elektron – lubang
- memperpendek waktu hidup (life time) pasangan elektron – lubang

Untuk sistem M-I-S, pada prinsipnya hampir sama dengan sistem M-S, tetapi antara lapisan semikonduktor dan logam diberi lapisan isolator. Pemberian lapisan isolator ini selain dimaksudkan untuk menaikkan potensial penghalang juga dimaksudkan untuk melindungi komponen dari kontak dengan udara bebas. Hal ini telah dibuktikan dari hasil pengukuran, yaitu adanya kenaikan resistivitas secara drastis pada semikonduktor yang telah dideposisi dengan lapisan isolator. Kenaikan nilai

resistivitas ini sebanding dengan tebal isolator yang dilapiskan. Semakin tebal lapisan isolator, maka resistivitasnya juga semakin naik. Dibawah ini diberikan data perbandingan nilai resistivitas sesudah dideposisi dan sebelum dideposisi dengan isolator.

Tabel 4.1 Pengaruh nilai resistivitas sebelum dan sesudah dideposisi.

Si-n	Hambatan sebelum	Hambatan setelah	Lama deposisi
Logam kontak	dideposisi (Ω)	dideposisi ($M\Omega$)	(menit)
Al-Cu	53.02 ± 0.01	1.4 ± 0.03	10
	48.9 ± 0.09	1.6 ± 0.04	15
Ni-Ag	50.06 ± 0.04	1.0 ± 0.06	10
	50.24 ± 0.03	1.7 ± 0.06	15
Ni-Au	48.06 ± 0.03	1.06 ± 0.04	5
	51.1 ± 0.2	1.2 ± 0.05	15
Ag-Al	49.34 ± 0.02	1.07 ± 0.03	5
	53.58 ± 0.05	1.2 ± 0.06	10

Dengan meningkatnya resistivitas ini, maka lintasan yang harus dilalui oleh pembawa muatan minoritas semakin panjang, akibatnya untuk menerobos potensial penghalang dibutuhkan energi yang lebih besar. Sehingga dengan berkurangnya efek penerobosan (tunneling effect) atau arus bocor sel surya, maka besarnya arus keluaran akan semakin besar, dan hal ini akan mengakibatkan peningkatan efisiensi sel surya.

Peningkatan nilai resistivitas ini sangat bergantung dengan lamanya waktu pendeposisian isolator bahan organik. Semakin lama waktu yang digunakan untuk

pendeposisian, maka ketebalan lapisan isolatornya juga semakin tebal, sehingga besarnya resistivitas juga semakin meningkat. Semua parameter yang digunakan pada pendeposisian bahan organik ini dibuat tetap, sehingga ketebalan lapisan ini hanya bergantung terhadap waktu deposisi. Ketebalan lapisan isolator ini sangat mempengaruhi efisiensi keluaran sel surya. Jika lapisan isolatornya cukup tebal, maka kontak ini akan bersifat sebagai kapasitor, tetapi apabila lapisan isolatornya sangat tipis, maka kontak ini akan menyerupai sel surya Schotky Barrier (sistem M-S), karena sedikit sekali lapisan yang menghalangi transport pembawa muatan antar logam dan semikonduktor. Dengan demikian ketebalan lapisan isolator dalam sel surya M-I-S harus ditentukan dalam rentang ketebalan tertentu, karena apabila lapisan isolatornya terlalu tebal maka tidak akan mencapai sasaran untuk memperoleh efisiensi yang tinggi. Ketebalan lapisan isolator organik toluene pada selang waktu antara 5 sampai 10 menit adalah sebesar $5.6 - 19.2 \mu\text{m}^{(18)}$. Adapun rentang waktu antara 5- 15 menit adalah sesuai untuk ketebalan isolator sel surya, karena dengan waktu 15 menit efisiensi sel surya meningkat dibanding dengan pemberian waktu 5 atau 10 menit.



4.2 Karakteristik Kapasitansi- Tegangan (C-V) sel surya M-I-S

Dari hasil pengukuran kapasitansi sel surya dengan menggunakan C-V Analyzer Kethley 590, maka diperoleh data kapasitansi - tegangan, (C-V) yang terdapat pada lampiran V. Untuk mengetahui konsentrasi pembawa muatan pada sel surya M-I-S yang telah dibuat, maka dilakukan pengukuran kapasitansi sebagai fungsi dari tegangan (C-V). Persamaan (4.1) dan (4.2) menunjukkan hubungan kapasitansi terhadap tegangan untuk sel surya M-I-S yaitu:

$$C = [\{(\epsilon_r q N_D)/\{2(V_b \pm V)\}\}]^{1/2} \dots\dots\dots(4.1)$$

$$1/C^2 = \{2/(\epsilon_r q N_D)\} (V_b \pm V) \dots\dots\dots(4.2)$$

Dari persamaan (4.1) dan (4.2) dapat dilihat bahwa dengan mengetahui besarnya kapasitansi sebagai fungsi tegangan (V) dari sel surya M-I-S maka dapat diperkirakan besarnya konsentrasi pembawa muatan (N_D) dan tegangan difusi (V_b) dalam suatu semikonduktor. Sehingga dari grafik hubungan $1/C^2$ dengan V (identik dengan persamaan $y = Ax + B$) pada gambar lampiran VII diperoleh harga kemiringan (slope) sebagai berikut :

$$\text{Slope (kemiringan kurva)} = 2/(\epsilon_r q N_D) \dots\dots\dots(4.3)$$

Sedangkan lebar daerah deplesi (w) diperoleh dengan persamaan berikut :

$$w = [\{(2\epsilon_r)(V_b \pm V)\} / (qN_D)]^{1/2} \dots\dots\dots(4.4)$$

Dimana, q = muatan elektron (C)

$$\epsilon_r = \epsilon_0 \cdot \epsilon$$

ϵ = konstanta dielektrik semikonduktor

ϵ_0 = permitivitas hampa

N_D = konsentrasi pembawa muatan

w = lebar daerah deplesi

Dengan menggunakan $V=0$ (tanpa tegangan bias), maka dengan persamaan (4.3) dapat diperoleh lebar daerah deplesi (w) sel surya M-I-S berkisar antara $9.87.10^{-7}$ sampai $1.50.10^{-6}$ cm.

Tabel 4.2 Harga parameter dari pengukuran C-V dari sel surya M-I-S

sampel	A(slope)	B	Nd(cm ⁻³)	Vb(Volt)	w(μm)
1-Si-N/Ag/Al/5	1.29E+17	1.93E+18	9.11E+15	6.68E-02	9.87E-03
2-Si-N/Ag/Ni/10	1.86E+17	1.74E+18	6.33E+15	1.07E-01	1.50E-02
3-Si-N/Ag/Al/15	2.66E+17	8.07E+17	4.43E+15	3.29E-01	3.14E-02
4-Si-N/Au/Ni/15	4.53E+17	1.48E+18	2.60E+15	3.07E-01	3.96E-02
5-Si-N/Ag/Ni/5	1.02E+17	1.73E+18	1.16E+16	5.87E-02	8.20E-03
6-Si-N/Au/Ni/10	3.51E+17	2.76E+18	3.36E+15	1.27E-01	2.24E-02

Dari hasil pengukuran C-V terlihat bahwa lebar daerah deplesi adalah berbanding terbalik dengan konsentrasi pembawa muatan. Semakin lebar daerah deplesi, maka konsentrasi pembawa muatan akan semakin kecil, begitu juga sebaliknya jika daerah deplesi semakin sempit, maka pembawa muatannya akan semakin besar. Besarnya konsentrasi pembawa muatan (Nd) dari sel surya M-I-S adalah berkisar antara $1.16 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ untuk Si-N/Ag/Ni/5 dan $2.6 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ untuk Si-N/Au/Ni/15 dan tegangan difusi sekitar $5.87 \cdot 10^{-2}$ sampai $3.29 \cdot 10^{-1} \text{ V}$.

4.3 Pengaruh logam kontak terhadap arus keluaran sel surya M-I-S

Jenis logam yang digunakan sebagai kontak elektroda sel surya sangat berpengaruh terhadap besar arus keluaran yang dihasilkan oleh sel. Karena setiap logam mempunyai sifat listrik yang berbeda. Untuk mengetahui adanya pengaruh logam kontak pada sifat listrik di permukaan semikonduktor, maka dapat dibandingkan sel surya sistem M-S (Metal - Semikonduktor) dengan sistem M-I-S (Metal- Insulator-Semikonduktor). Untuk sistem M-S berlaku persamaan sebagai berikut ⁽⁸⁾ :

$$q\Phi_B = q(\Phi_m - \chi_s) \dots\dots\dots(4.5)$$

$$qV_{bi} = q(\Phi_m - \Phi_s) \dots\dots\dots(4.6)$$

Sedangkan untuk sistem M-I-S berlaku persamaan-persamaan sebagai berikut ⁽⁹⁾

$$\Phi_{ms} = \Phi_m - \left(\chi + \frac{Eg}{2q} - \psi_B \right) \quad (\text{tipe n}) \dots\dots\dots(4.7)$$

$$\Phi_{ms} = \Phi_m - \left(\chi + \frac{Eg}{2q} + \psi_B \right) \quad (\text{tipe p}) \dots\dots\dots(4.8)$$

Untuk semikonduktor sistem M-S jumlah pembawa muatan sangat ditentukan oleh nilai $q\Phi_B$ dan qV_{bi} . Nilai $q\Phi_B$ menunjukkan besarnya barrier potensial (potensial penghalang) dari pembawa muatan untuk mengalir menuju semikonduktor dari logam, sedangkan qV_{bi} menunjukkan built in potensial yang terbentuk karena adanya kontak antara semikonduktor-logam yang mengakibatkan perubahan posisi pita energi. Built in potensial akan menimbulkan adanya aliran pembawa muatan yang melintasi batas antara logam dan semikonduktor. Apabila nilai $q\Phi_B > qV_{bi}$ maka nilai arus maksimum dapat ditingkatkan karena photoarusnya adalah dominan. ⁽⁸⁾

Sedangkan untuk sistem M-I-S, besarnya barrier height (tinggi penghalang) akan dipengaruhi oleh tipe semikonduktor dan lapisan isolatornya. Pada sistem ini, arah aliran pembawa muatan akan ditentukan oleh Φ_{ms} , yaitu selisih antara fungsi kerja logam dengan fungsi kerja semikonduktor. Selain itu untuk tipe semikonduktor yang berbeda juga akan memberikan pengaruh yang berbeda pula. Ada tiga nilai kemungkinan untuk sistem M-I-S :

$$\Phi_{ms} < 0 \text{ terjadi akumulasi untuk hole}$$

$$\Phi_{ms} = 0 \text{ terjadi deplesi pada hole}$$

$$\Phi_{ms} > 0 \text{ terjadi inversi}$$

Tabel 4.3 Pengaruh Logam kontak terhadap arus keluaran

Logam kontak	Arus(10^{-5} A)	Waktu deposisi (menit)
Cu-Al	0.28	10
	0.21	15
Au-Ni	0.35	10
	0.31	15
Ag-Ni	0.04	5
	0.2	15
Ag-Al	0.026	5
	0.025	10

Berdasarkan tabel (4.3) ditunjukkan besarnya arus keluaran dari masing-masing sel surya M-I-S. Dari tabel tersebut ditunjukkan bahwa arus keluaran dari kontak logam emas lebih besar jika dibandingkan dengan kontak logam perak dan tembaga. Hal ini terjadi karena fungsi kerja logam emas adalah lebih besar daripada fungsi kerja logam perak dan tembaga.

Sel surya struktur M-I-S dengan kontak logam emas akan menghasilkan kondisi inversi, yaitu laju pembentukan pasangan elektron-hole lebih tinggi dari pada laju rekombinasi. Pada kondisi inversi terjadi ketidakseimbangan muatan yang dapat mengakibatkan penurunan tegangan internal pada semikonduktor. Dengan adanya penurunan tegangan internal ini, akan menyebabkan timbulnya medan listrik, E seperti pada persamaan (4.9).

$$E = -\frac{dV}{dx} \dots\dots\dots (4.9)$$

Dari persamaan ini dapat dijelaskan bahwa medan listrik internal, E timbul karena adanya penurunan tegangan internal sebesar dV setebal lapisan inversi dx .

Timbulnya arus listrik dalam komponen M-I-S diakibatkan oleh beda potensial antara semikonduktor dan logam. Adanya beda potensial ini akan menimbulkan medan listrik internal dalam komponen. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pemilihan logam sebagai kontak elektroda adalah penting, karena akan mempengaruhi kemampuan suatu komponen untuk membangkitkan medan listrik internal.

4.4 Perhitungan efisiensi dan Fill Faktor Sel Surya M-I-S

Besarnya efisiensi merupakan faktor utama untuk mengetahui seberapa besar kemampuan perangkat sel surya untuk mengkonversikan energi cahaya menjadi energi listrik. Banyak faktor yang mempengaruhi efisiensi keluaran suatu sel surya, diantaranya : intensitas pancaran sinar yang diterima, kelembaban, sifat lapisan tipis, sifat sambungan, dan kontak logam yang digunakan. Besar efisiensi sel surya dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\eta = \frac{P_m / \text{cm}^2}{P_{in} / \text{cm}^2} = \frac{V_m \cdot I_m / \text{cm}^2}{P_{in} / \text{cm}^2} \dots\dots\dots (4.10)$$

$$\eta = \frac{V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF}{P_m} \dots\dots\dots (4.11)$$

Besarnya Fill Faktor dapat dirumuskan :

$$FF = \frac{V_m \cdot I_m}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \dots\dots\dots (4.12)$$

Daya masukan (P_{in}) adalah daya foton yang diterima oleh sel surya, yang merupakan perkalian intensitas sinar matahari dengan luas permukaan sel surya. Daya masukan ini ditentukan dengan membuat kurva kalibrasi sumber cahaya dengan metode

regresi linier, yaitu dengan membuat hubungan antara intensitas sinar (I) terhadap kebalikan kuadrat jarak penyinaran ($1/r^2$). Dari grafik kalibrasi didapatkan persamaan sebagai berikut :

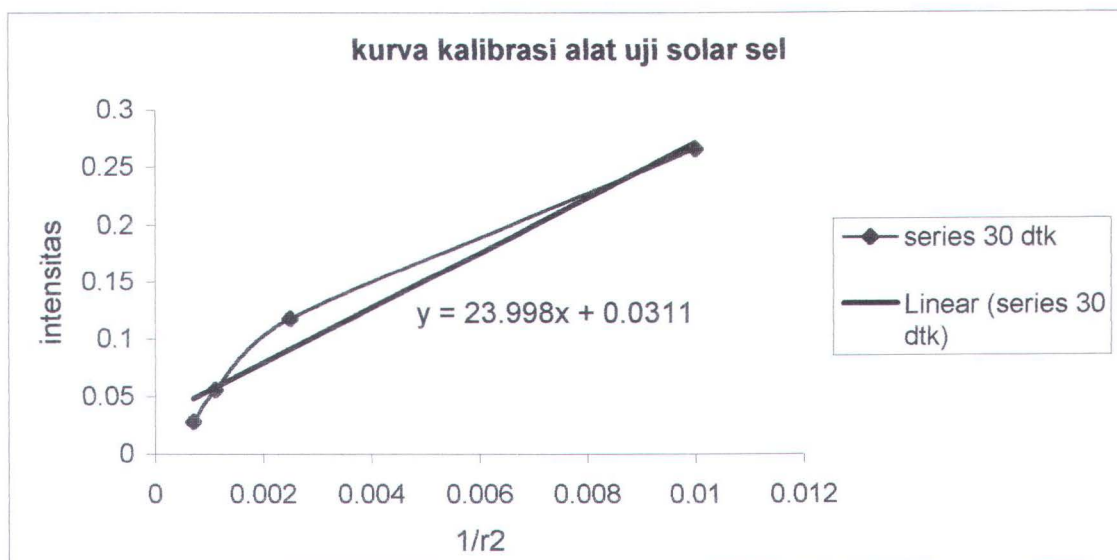
$$Y = 23,998 X + 0.0311$$

$$r^2 = 0.9661$$

dimana Y = intensitas sinar (kW/m^2)

X = kebalikan kuadrat jarak ($1/\text{cm}^2$)

Grafik 4.1 Grafik hubungan intensitas dengan kebalikan kuadrat jarak penyinaran.



Grafik diatas adalah hubungan antara intensitas keluaran dengan variasi jarak lampu dengan sensor, 10, 20, 30 dan 37,8 cm. Pengukuran dilakukan pada tegangan yang sama yaitu 210 Volt. Intensitas diukur dalam satuan kW/m^2 , sedangkan jaraknya diukur dalam satuan cm^2 .

Kurva kalibrasi tersebut dihitung pada daya dengan rentang jarak tertentu. Untuk menentukan besarnya efisiensi dan faktor pengisi, maka sel surya diletakkan pada jarak 12,5 cm dari sumber cahaya, dan regulator diatur pada tegangan 230 Volt.

Sehingga berdasar kondisi tersebut, maka didapatkan:

$$\begin{aligned} X &= 1/r^2 \\ &= 1/(12,5)^2 = 6,4 \cdot 10^{-3} / \text{cm}^2 \end{aligned}$$

maka besar nilai Y adalah :

$$\begin{aligned} Y &= 23,998 \times 6,4 \times 10^{-2} + 0,0311 \\ &= 0,1846 \text{ kW/cm}^2 \\ &= 0,185 \text{ kW/cm}^2 \end{aligned}$$

Nilai Y diatas menunjukkan besarnya intensitas sinar yang mengenai permukaan sel surya. Karena sel surya yang dibuat berukuran $1 \times 1 \text{ cm}^2$, maka besarnya daya yang diterima sel surya tersebut adalah $P_{in} = 0,185 \text{ kW/cm}^2 \times 1 \text{ cm}^2 = 0,185 \text{ kWatt}$. Besarnya daya ini berlaku sama untuk masing-masing sel surya.

Tabel 4.4 Data Faktor Pengisian Sel surya M-I-S

Sampel	V_{oc} (V)	I_{sc} (mA)	FF
1-Si-N/Ag/Al/TiO ₂ /10	0.24	0.053	0.67
2-Si-N/Au/Ni/TiO ₂ /10	0.196	0.18	0.62
3-Si-N/Cu/Al/TiO ₂ /10	0.169	0.17	0.58
4-Si-N/Cu/Al/TiO ₂ /15	0.193	0.15	0.61
5-Si-N/Au/Ni/TiO ₂ /15	0.21	0.18	0.63
6-Si-N/Ag/Ni/TiO ₂ /15	0.14	0.14	0.52

Tabel 4.5 Data Perhitungan Efisiensi Sel Surya M-I-S

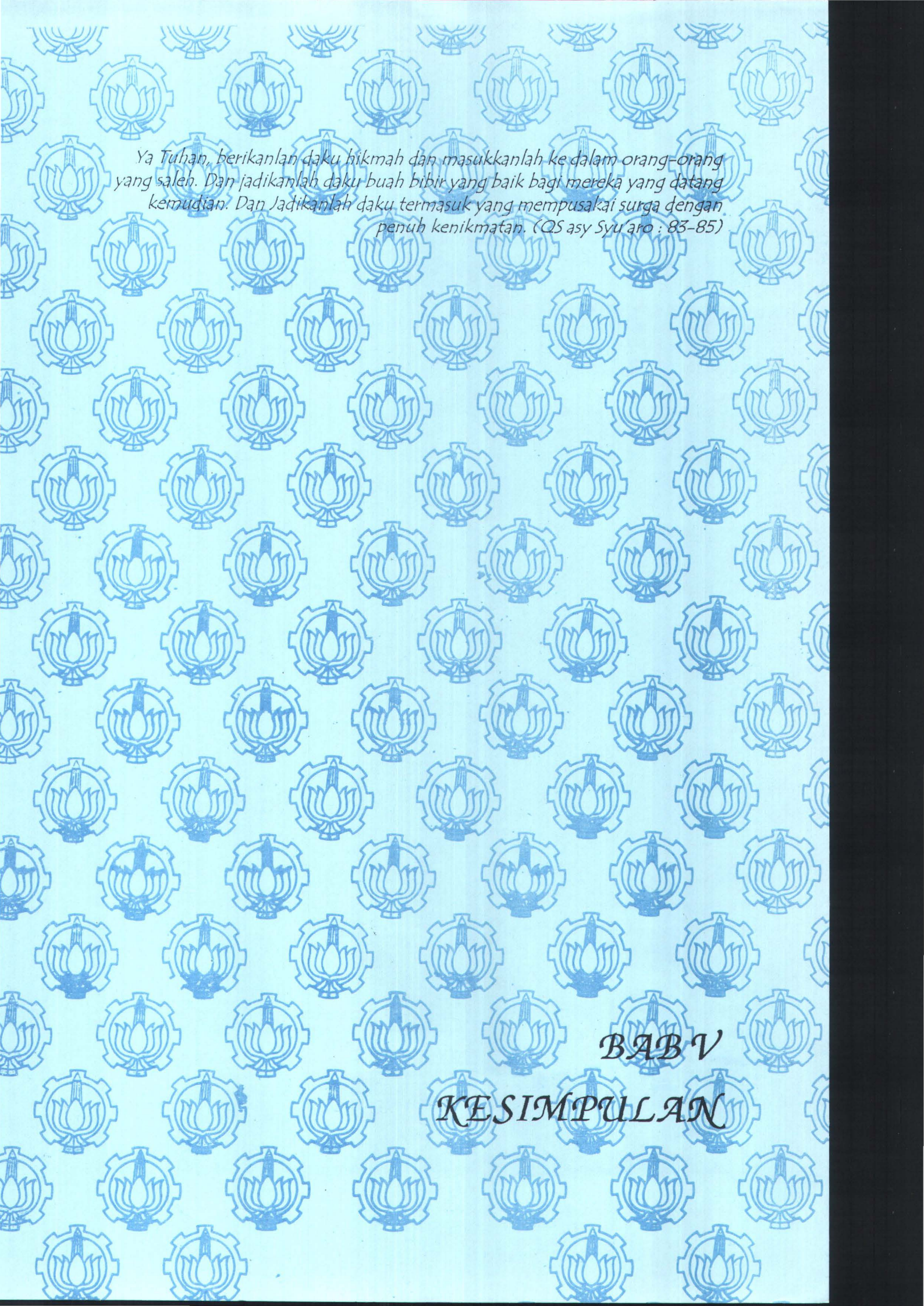
Sampel	V_m (V)	I_m (mA)	Efisiensi %
1-Si-N/Ag/Al/TiO ₂ /10	0.186	0.046	4.58
2-Si-N/Au/Ni/TiO ₂ /10	0.147	0.148	11.77
3-Si-N/Cu/Al/TiO ₂ /10	0.124	0.134	8.99
4-Si-N/Cu/Al/TiO ₂ /15	0.144	0.123	9.58
5-Si-N/Au/Ni/TiO ₂ /15	0.159	0.151	12.93
6-Si-N/Ag/Ni/TiO ₂ /15	0.099	0.118	5.53

Berdasarkan tabel 4.1 dan 4.2 diperoleh nilai efisiensi dari sel surya M-I-S antara 4.58 untuk sel surya dengan susunan Si-N/Ag/Al/TiO₂ dengan waktu deposisi isolator 10 menit dan 12.93 % untuk sel surya susunan Si-N/Cu/Al/TiO₂ dengan waktu deposisi isolator 15 menit. Sedangkan besarnya fill faktor (faktor pengisian) sel surya M-I-S memiliki rentang 0,52 sampai 0.67.

Dari hasil perhitungan efisiensi sel surya dapat diperoleh, bahwa sel surya dengan kontak elektroda logam emas (Au) mempunyai efisiensi yang lebih besar diantara logam tembaga dan perak. Hal ini disebabkan karena logam emas memiliki fungsi kerja logam yang tinggi, sehingga logam emas ini memiliki kemampuan untuk membangkitkan medan listrik internal yang tinggi, hal ini akan menyebabkan timbulnya arus difusi yang lebih besar. Selain itu, emas yang dideposisikan pada lapisan tipis organik akan menghasilkan kestabilan yang baik dan mempunyai tahanan yang lebih rendah. Sedangkan pada kontak logam dengan menggunakan Cu efisiensinya lebih rendah, hal ini terjadi karena logam Cu mempunyai fungsi kerja yang lebih rendah dari

pada logam emas, sehingga logam Cu akan memberikan selisih potensial yang lebih kecil.

Pemakaian lapisan antirefleksi terbukti mampu meningkatkan nilai efisiensi sel surya. Hal ini dapat dibuktikan dengan membandingkan nilai efisiensi penelitian sebelumnya pada parameter pembuatan dan bahan yang sama. Sel surya M-I-S dengan susunan Si-N/TolueneAu/15 menit tanpa lapisan antirefleksi menghasilkan efisiensi 9.5 %⁽¹⁷⁾. Padahal dalam penelitian ini efisiensi sel surya dengan susunan yang sama dengan menggunakan lapisan antirefleksi TiO₂ mampu menghasilkan efisiensi sebesar 12.93 %. Berdasarkan nilai ini maka dapat disimpulkan bahwa pemakaian lapisan antirefleksi TiO₂ mampu meningkatkan efisiensi sel surya. Peningkatan ini terjadi karena lapisan TiO₂ mampu mengurangi nilai reflektansi suatu bahan. Lapisan TiO₂ mempunyai sifat transparan, sehingga sangat sesuai untuk permukaan sel surya. Selain tidak menghalangi sinar yang masuk, lapisan ini juga mampu meneruskan energi foton dari sinar untuk menuju permukaan sel surya.



Ya Tuhan, berikanlah aku hikmah dan masukkanlah ke dalam orang-orang yang saleh. Dan jadikanlah aku buah bibir yang baik bagi mereka yang datang kemudian. Dan Jadikanlah aku termasuk yang mempusakai surga dengan penuh kenikmatan. (QS asy Syu'aro : 83-85)

BAB V

KESIMPULAN

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan


Dari hasil penelitian mengenai pembuatan dan karakterisasi sel surya M-I-S dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Bahan organik toluene berfungsi sebagai lapisan isolator ternyata mampu menaikkan potensial penghalang dari peralatan sel surya M-I-S.
2. Kenaikan resistivitas berbanding lurus dengan ketebalan pendeposisian lapisan isolator organik toluene.
3. Pemakaian logam sebagai kontak elektroda sangat mempengaruhi efisiensi keluaran perangkat sel surya M-I-S. Logam emas menghasilkan efisiensi keluaran paling besar diantara logam Tembaga (Cu) dan perak (Ag).
4. Pemberian lapisan antirefleksi dapat meningkatkan efisiensi keluaran sel surya.
5. Nilai efisiensi sel surya M-I-S terendah sebesar 4.58 % untuk sel surya Si/TiO₂/Ag/10 menit dan terbesar 12.93 % untuk sel surya Si/Toluene/Au/15 menit dan faktor pengisi sebesar 0.52 untuk sel surya Si/TiO₂/Ag/10 menit dan 0.67 untuk sel surya Si/Toluene/Au/15 menit .

5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang perlu diperhatikan untuk memperoleh hasil yang optimum adalah:

1. Perlu penelitian lebih lanjut untuk memvariasi parameter lain dalam pembuatan sel surya M-I-S mengenai variasi lapisan isolator yang digunakan, ketebalan kontak elektroda yang tepat, dan bagaimana kalau diukur langsung dibawah penyinaran matahari.
2. Perlu dipelajari lebih lanjut bagaimana menghindari adanya rekombinasi semikonduktor akibat penyinaran terhadap suatu bahan, karena terjadinya rekombinasi akan mengakibatkan penurunan arus keluaran.



.....Dari perut itu keluar minuman (madu) yang bermacam-macam warnanya. Didalamnya terdapat obat yang menyembuhkan bagi manusia. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda (kebesaran Tuhan) bagi orang-orang yang memikirkan (QS An-nahl :69)

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

1. Duke, C,B. Jurnal of Vacum Science and Technology A, 3, n.3, P.731, 1985
2. Neville, Richard, C., Solar Energy Conversion : The Solar Cell, Elsevier Scientific Publishing Company, 1978.
3. Green, Martin A., Solar Cells, Operating principles, Technology and System Applications, Prentice-Hall Inc, New Jersey, 1982.
4. Rio, Reka, S. & Iida, Masamori, Fisika dan Teknologi Semikonduktor , Pradnya Paramita, Jakarta, 1982.
5. Malvino, Barmawi & Tjia, Aproksimasi Rangkaian Semikonduktor Pengantar Transistor dan Rangkaian Terpadu, Erlangga Jakarta 1986.
6. Bhattacharaya, Pallab, Semiconductor Optoelectronic Devices, Prentice-Hall International, Inc, 1997.
7. Milman J & Halkias, Integrated Electronics: Analog & Digital Circuits and Sistem, Mc Grawhill, Inc, New York, USA, 1971
8. Kano, K, Semiconductor Devices, Prentice Hall, International, Inc, New Jersey, USA, 1998.
9. Sze, S. M, Semiconductor Devices, Physics and Technology, John Wiley & Sons, Singapore, 1985.
10. Pardede. M, dkk, Sel Surya Sebagai Sumber Daya Peralatan Meteo, Proceeding Program penelitian Pusrigan LAPAN, 1983.
11. Fahrenbruch, Alan F, Bube, Richard R, Fundamental of Solar Cells, Photovoltaic Solar Energy Conversion, Academic Press, 1983.

12. Suyitno, Adianto, Darsono, Konstruksi dan karakterisasi system Deposisi Berkas ion Bahan Organik dengan Plasma Teknik RF Untuk Pembuatan Peralatan Elektronika, Seminar Ilmiah HFIY UNS, Surakarta, 1998.
13. Vlack, Van, L.H., Ilmu dan Teknologi Bahan, Erlangga, Jakarta, 1987.
14. Adianto, Pengukuran Sel Surya dan Tegangan Fotolateral Perangkat Elektronik Logam-Isolator-semikonduktor, prosiding Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir 1995.
15. Konuma, Thin Film Deposition by Plasma Techniques, Springer Verlag, Berlin, 1998
16. Beiser, Arthur, Konsep Fisika Modern, Erlangga, Jakarta 1983
17. Ferdiansjah, Penelitian awal Fabrikasi dan Karakterisasi Sel Surya Tipe M-I-S (Metal-Insulator-Semiconductor) dengan Teknik deposisi Berkas Ion-Plasma, UGM, 2001
18. Nanang, Pembuatan Dioda Logam Isolator Semikonduktor... Undip, 1998



*Sesungguhnya Allah mengetahui apa yang ada dilangit dan
dibumi, Dan Allah Maha Melihat apa yang kamu kerjakan.
(QS al-Hujurat : 49)*

LAMPIRAN

LAMPIRAN I

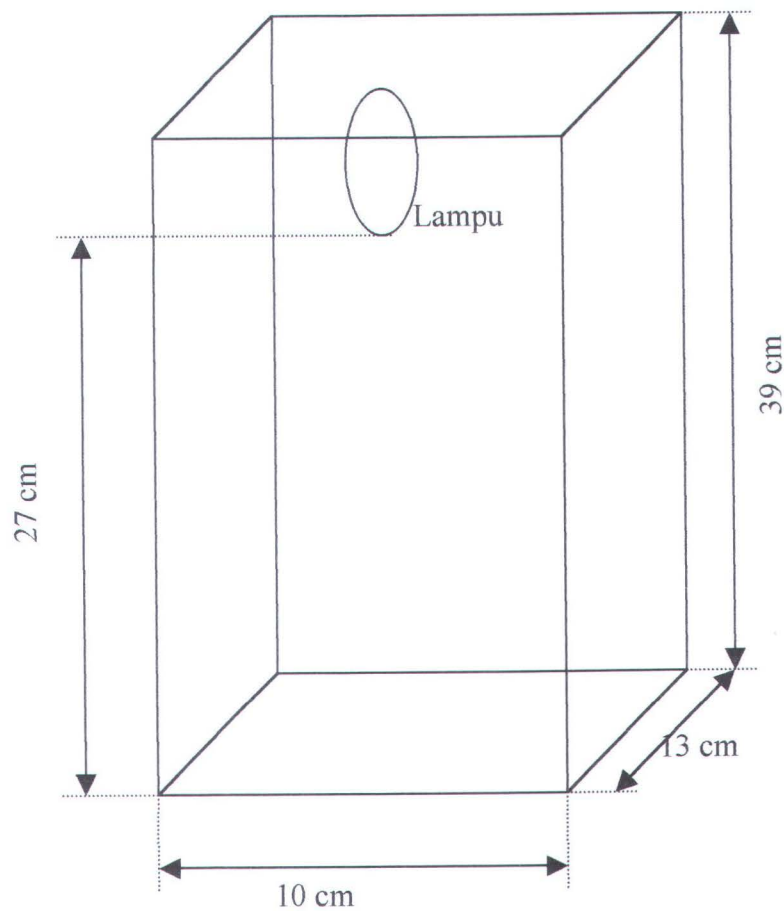
Sifat-Sifat Sillikon Intrinsik Pada suhu 300 K⁽⁵⁾

Densitas (atoms/cm ³)	5.1 x 10 ²²
Densitas (g/cm ³)	2.328
Berat atom	28.09
Struktur kristal	Diamond
Konstanta Dielektrik	11.9
Kerapatan efektif dalam Pita konduksi, Nc(cm ⁻³)	2.8 x 10 ¹⁹
Kerapatan efektif dalam pita valensi, Nv(cm ⁻³)	1.04 x 10 ¹⁹
Afinitas elektron, x(v)	4.05
Energi sela (eV)	1.12
Konsentrasi pembawa intrinsik (cm ⁻³)	1.45 x 10 ¹⁰
Panjang debye intrinsik (μm)	24
Resistivitas intrinsik (Ω-cm)	2.3 x 10 ⁵
Konstanta lattice (A)	5.43095
Titik leleh (C)	1415
Waktu hidup pembawa minoritas(s)	2.5 X 10 ⁻³
Mobilitas (cm ² /V-s)	
Elektron	1500
Lubang	450
Konduktivitas termal (W/cm-C)	1.5
Difusi termal (cm ² /s)	0.9



LAMPIRAN II

GAMBAR DAN UKURAN ALAT PENGUJIAN SEL SURYA



Keterangan :

- ☒ Sumber cahaya : lampu wolfram 100 W /220 Volt
- ☒ Dinding warna hitam
- ☒ Lampu dihubungkan pada regulator dengan keluaran 0-235 Volt
- ☒ Jarak lampu dengan sel surya 12,5 cm

LAMPIRAN III

DATA KALIBRASI ALAT UJI SEL SURYA

Tegangan (Volt)	Jarak 10 cm Waktu 30 dtk		Jarak 10 cm Waktu 60 dtk	
	Arus (ampere)	Data (KW/m ²)	Arus (ampere)	Data (KW/m ²)
10	1.00	0.0000	0.100	0.0000
20	0.130	0.0010	0.130	0.0015
30	0.145	0.0030	0.145	0.0040
40	0.165	0.0065	0.160	0.0080
50	0.180	0.0115	0.180	0.0130
60	0.200	0.0180	0.200	0.0190
70	0.210	0.0260	0.210	0.0280
80	0.225	0.0350	0.225	0.0370
90	0.240	0.0460	0.240	0.0490
100	0.260	0.0590	0.255	0.0620
110	0.270	0.0740	0.270	0.0750
120	0.280	0.0890	0.280	0.0940
130	0.300	0.1060	0.300	0.1090
140	0.310	0.1250	0.310	0.1300
150	0.325	0.1440	0.320	0.1480
160	0.335	0.1610	0.340	0.1710
170	0.345	0.1800	0.350	0.1880
180	0.355	0.2000	0.360	0.2090
190	0.365	0.2220	0.370	0.2300
200	0.380	0.2440	0.380	0.2550
210	0.390	0.2660	0.390	0.2780
220	0.400	0.2900	0.400	0.3040
230	0.410	0.3220	0.410	0.3330
235	0.415	0.3300	0.415	0.3400

Keterangan : sumber lampu 100 watt

Jarak lampu dengan sensor 10 cm

φ Sensor 1,16 cm

DATA KALIBRASI ALAT UJI SEL SURYA

Tegangan (Volt)	Jarak 30 cm Waktu 30 dtk		Jarak 30 cm Waktu 60 dtk	
	Arus (ampere)	Data (KW/m ²)	Arus (ampere)	Data (KW/m ²)
10	0.090	0.000	0.100	0.000
20	0.120	0.000	0.120	0.000
30	0.140	0.000	0.140	0.000
40	0.160	0.001	0.165	0.001
50	0.180	0.002	0.180	0.002
60	0.190	0.003	0.195	0.004
70	0.210	0.005	0.210	0.005
80	0.220	0.007	0.225	0.008
90	0.240	0.009	0.240	0.010
100	0.250	0.012	0.250	0.013
110	0.270	0.015	0.270	0.016
120	0.285	0.019	0.285	0.020
130	0.300	0.022	0.300	0.023
140	0.310	0.026	0.310	0.028
150	0.325	0.030	0.320	0.031
160	0.335	0.034	0.340	0.035
170	0.345	0.038	0.350	0.040
180	0.360	0.042	0.360	0.044
190	0.370	0.047	0.370	0.049
200	0.380	0.051	0.380	0.053
210	0.390	0.056	0.390	0.059
220	0.400	0.061	0.400	0.065
230	0.410	0.067	0.410	0.069
235	0.415	0.070	0.415	0.071

Keterangan : sumber lampu 100 watt

Jarak lampu dengan sensor 30 cm

φ Sensor 1,16 cm

DATA KALIBRASI ALAT UJI SEL SURYA

Tegangan (Volt)	Jarak 37,8 cm Waktu 30 dtk		Jarak 37,8 cm Waktu 60 dtk	
	Arus (ampere)	Data (KW/m ²)	Arus (ampere)	Data (KW/m ²)
10	0.100	0.000	0.090	0.000
20	0.120	0.000	0.120	0.000
30	0.145	0.000	0.140	0.001
40	0.160	0.001	0.160	0.001
50	0.175	0.001	0.180	0.002
60	0.195	0.002	0.190	0.002
70	0.210	0.003	0.210	0.003
80	0.220	0.004	0.225	0.004
90	0.240	0.005	0.240	0.005
100	0.250	0.006	0.250	0.007
110	0.270	0.008	0.270	0.008
120	0.280	0.009	0.280	0.010
130	0.300	0.011	0.300	0.012
140	0.310	0.013	0.310	0.013
150	0.320	0.015	0.320	0.016
160	0.335	0.017	0.335	0.018
170	0.350	0.019	0.345	0.020
180	0.355	0.021	0.355	0.022
190	0.365	0.023	0.365	0.024
200	0.375	0.026	0.380	0.027
210	0.390	0.028	0.385	0.029
220	0.400	0.031	0.400	0.032
230	0.410	0.033	0.410	0.035
235	0.415	0.034	0.415	0.036

Keterangan : sumber lampu 100 watt

Jarak lampu dengan sensor 37,8 cm

φ Sensor 1,16 cm

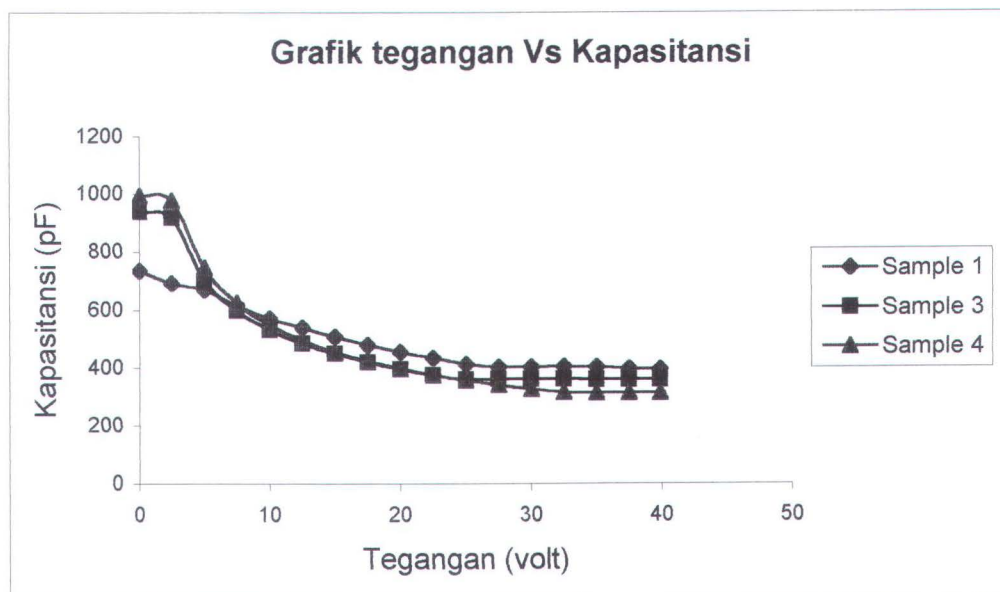
LAMPIRAN IV

HASIL PENGUKURAN KAPASITANSI- TEGANGAN PADA SEL SURYA

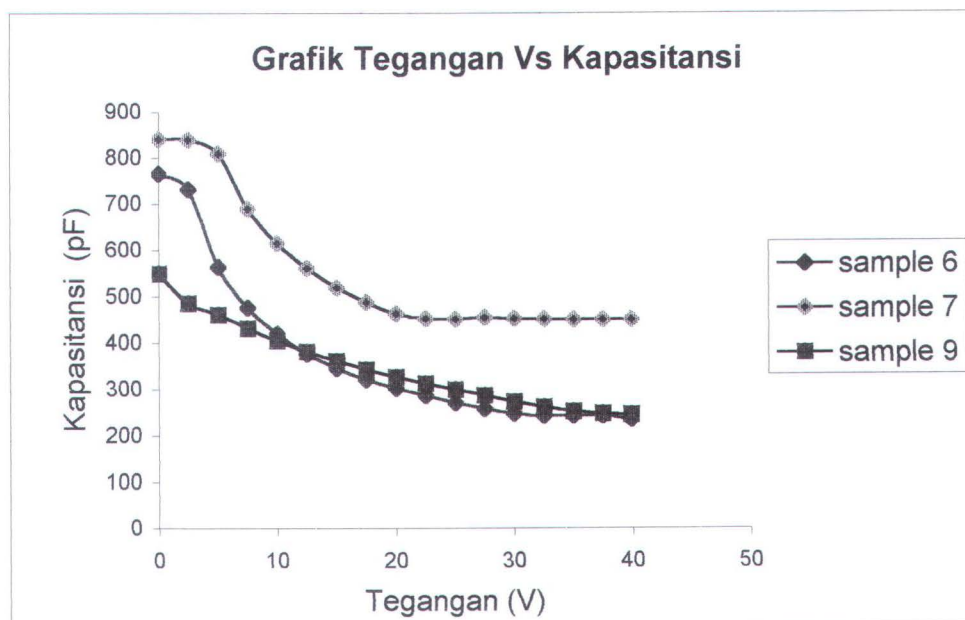
Tegangan (volt)	Kapasitansi (pF)								
	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Sampel 4	Sampel 5	Sampel 6	Sampel 7	Sampel 8	Sampel 9
0.0	735.2	23.6	937.8	993.8	37.9	765.9	839.9	0.771	549.6
2.5	692.5	35.9	917.9	977.7	37.2	731.6	839.2	0.49	485.5
5	669.5	45.1	701.2	745.8	37.2	563.8	809.5	0.150	461.4
7.5	615.9	53.6	599.7	625.2	37.0	475.8	689.5	0.453	431.9
10	571.2	59.6	531.1	549.1	37.6	419.7	615.2	0.597	405.6
12.5	539.1	63.4	485.2	495.7	41.4	377.0	561.9	0.730	381.5
15	507.1	67.2	449.6	455.3	63.4	345.8	519.3	0.832	361.3
17.5	479.3	71.2	419.6	423.5	61.9	321.5	487.5	0.856	343.6
20	455.9	73.3	395.8	397.8	89.3	301.8	463.7	0.655	327.2
22.5	435.4	75.3	375.7	375.1	91.6	285.5	453.1	0.555	313.2
25	411.9	75.5	359.6	357.8	105.5	271.3	451.9	0.597	299.8
27.5	403.9	75.2	361.6	341.1	103.5	257.7	455.6	0.734	287.3
30	403.2	75.9	361.6	327.2	117.5	247.7	453.1	0.676	273.2
32.5	405.3	75.8	361.5	315.3	107.5	243.2	451.5	0.716	261.4
35	403.9	75.4	361.1	313.6	105.4	243.2	451.1	0.739	251.9
37.5	397.8	75.1	361.1	313.0	109.7	243.2	451.1	0.731	247.7
39.9	395.1	73.6	361.1	313.7	119.7	234.1	451.0	0.716	245.3

LAMPIRAN V

Grafik 1 hubungan tegangan dengan kapasitansi

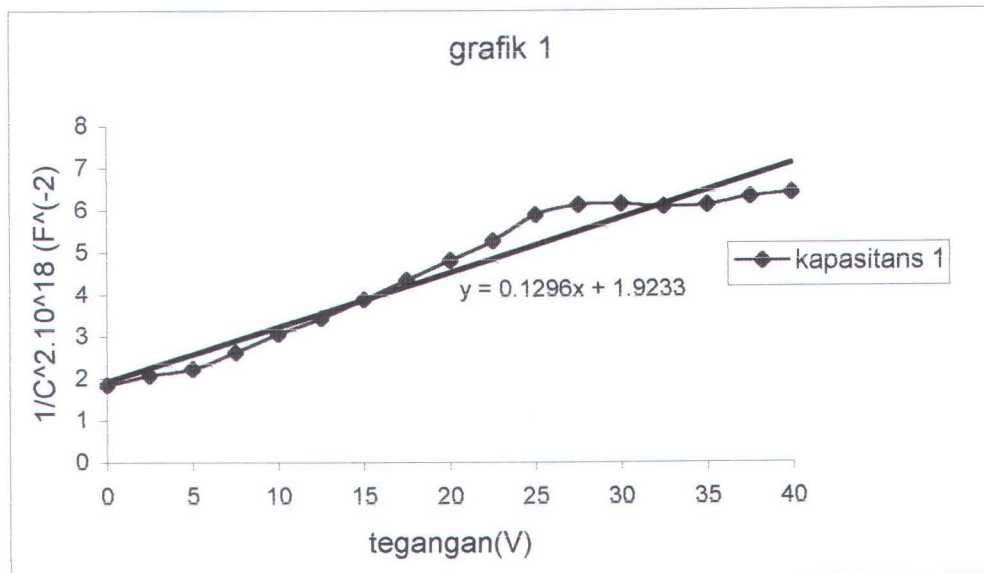


Grafik 2 hubungan tegangan dengan kapasitansi

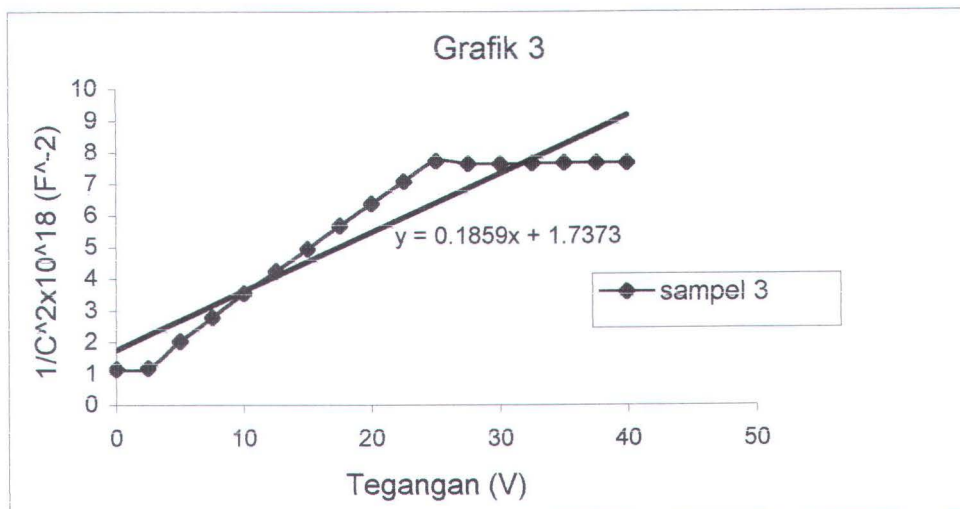


LAMPIRAN VI

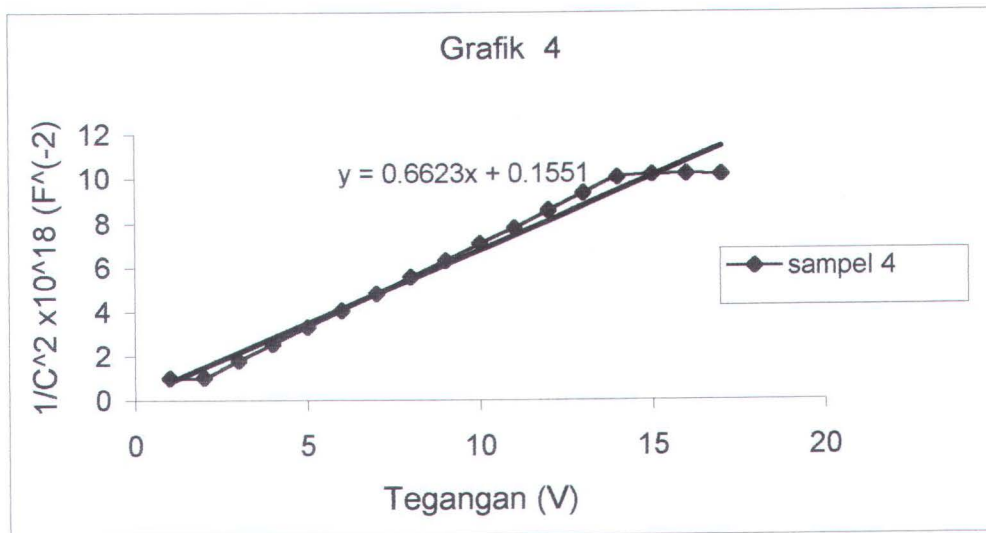
Grafik hubungan $1/C^2$ terhadap V (sampel 1)



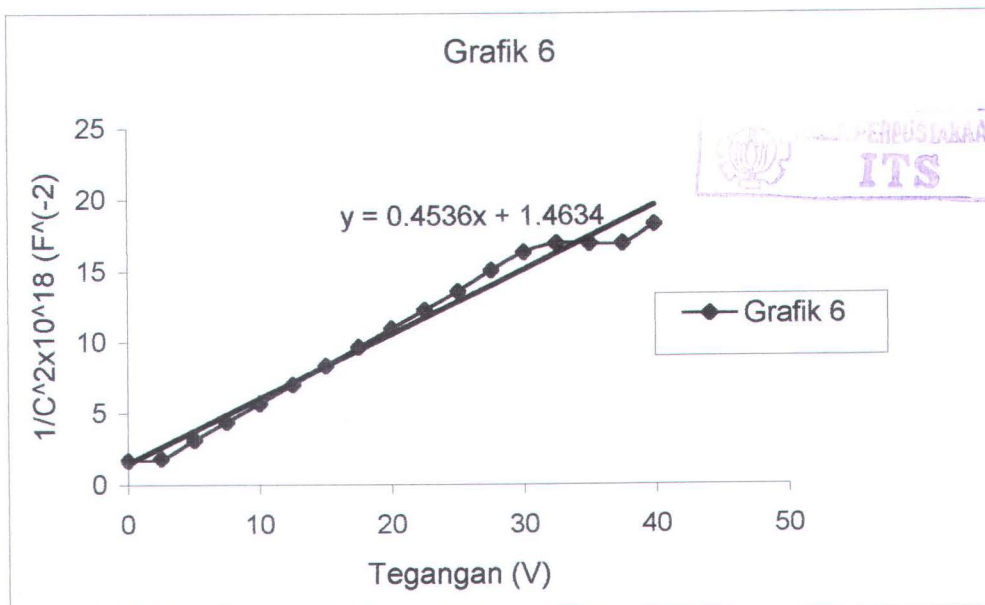
Grafik hubungan $1/C^2$ terhadap V (sampel 3)



Grafik hubungan $1/C^2$ terhadap V (sampel 4)

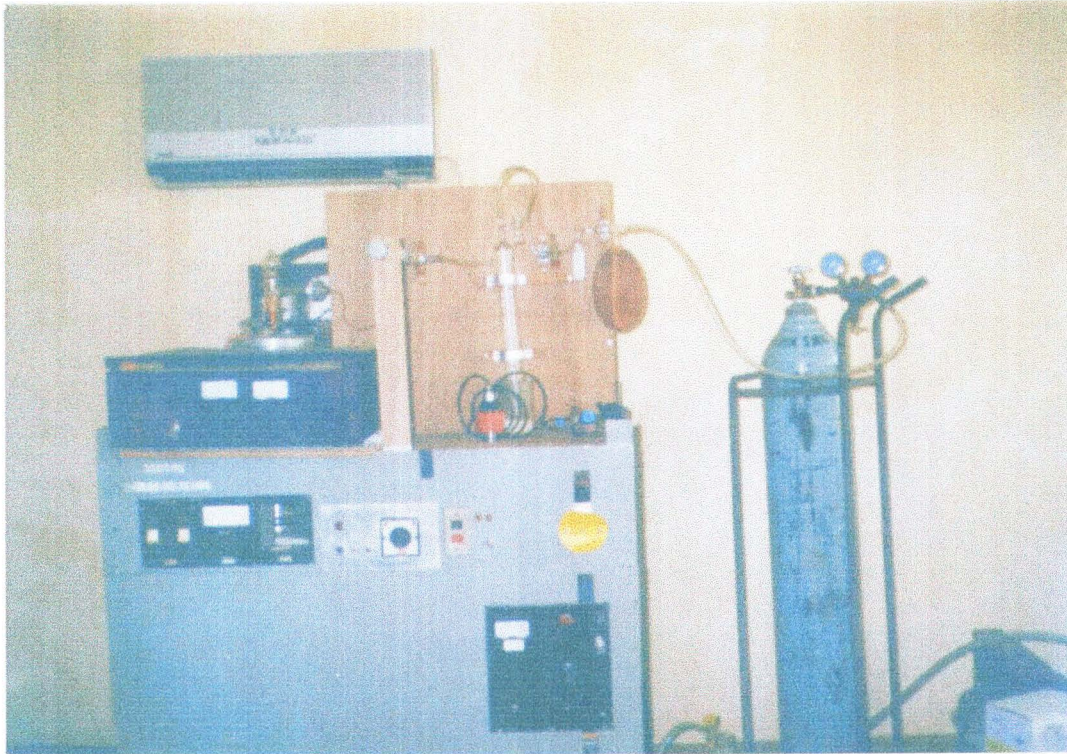


Grafik hubungan $1/C^2$ terhadap V (sampel 6)



PERALATAN SISTEM DEPOSISI PLASMA

Sistem Deposisi Plasma tampak depan



Sistem Deposisi Plasma tampak samping



Ida thank's for

Dengan terselesaikannya penulisan tugas akhir ini, berakhir sudah masa kuliah bagi seorang mahasiswa, dan hal ini juga tidak lepas dari keikutsertaan ataupun bantuan dari rekan-rekan semua. Oleh karena itu pada tulisan ini *ida mo'* ucapin terima kasih banyak ama pihak-pihak yang telah membantu baik moral maupun material atas selesainya tugas ini, kepada :

- ❖ Saudara-saudaraku, *Mas Syamsul dan m' Ulin* atas motivasinya, *Mas Aris* terima kasih atas kesabaran dan perhatiannya, *Mas Rofi* dan *m'Risma* terima kasih atas motivasi dan supportnya, *m' Siti* atas dukungan yang diberikan, dan *Adhikku* tersayang *Niha*, yang telah mengisi hariku lebih ceria, tetap semangat yah, dan moga sukses selalu buat kamoe...
- ❖ Buat sobatkoe *Yayuk*, my special partner terima kasih atas kebersamaannya dan persahabatan selama ini, suka duka bersamamu tak kan bisa kulupakan, selama di yogya, maupun dikampus, masih ingatkan kenangan di Kledokan 146 B Yk dan juga waktu terusir dari kledokan 5B, dan buat sobatkoe *Dwi Agus*, akhirnya gw selesai juga nih, kapan yah kita bisa bersama lagi?
- ❖ Buat *Merry*, enak yah ngambil data malam hari, g' banyak noise, selain itu juga bakat kamoe sebagai *kelelawar* jadi tersalurkan.... Terima kasih yah atas kebersamaannya dan perjalanan keputih-bratang, udah berakhir ato belum nih???
- ❖ Buat *Sentot*, terima kasih banyak atas pembuatan transparannya, bakatmoe perlu disalurkan nih,,, sorry udah banyak merepotkan kamoe dan menyita waktu untuk ibumoe
- ❖ Buat *She Bey* terima kasih banyak atas komputernya, segala perhatian kamoe, kesabarannya dan elalu menemaniku disaat aku sedih maupun senang, untuk *Budi* terima kasih atas kebaikan dan bantuannya, *Pepeng*, terima kasih atas printernya, motivasi, kebaikan dan perhatian kamoe
- ❖ Buat bapak dan ibu karyawan BATAN, *pak Mar*, (terima kasih atas bantuan evaporasi, dan cerita-ceritanya), *m'Elin+ p. Yun* (terima kasih atas bantuannya, dan suratnya, sehingga penelitiannya makin lancar), *PAK Hartono* (terima kasih atas diskusinya dan bantuan rangkaiannya, pak) *pak Totok* (terima kasih pak, atas tempat pengujiannya), *pak Supri* (terima kasih atas bantuan deposisi plasmanya), *pak Jasiman* (atas diskusi-diskusinya), *pak Giri* (atas bantuan sputternya), *pak Raji*, *pak Mur*, dan bapak ibu yang lain yang g' bisa saya sebutkan satu persatu, terima kasih, pak, bu atas semuanya.

- ❖ Buat *mas Ferdiansjah* (UGM), terima kasih banyak mas, atas buku dan diskusi-diskusinya mengenai sel surya, dan buat *Haris* (UAD) kok tiba-tiba udah geduluin, sih?
- ❖ Buat *Narmi* terima kasih atas kebaikan, kebersamaan, mungkin hambatan itu sebagai langkah awal kesuksesan kamoe, sabar yah, Buat *Diyan* terima kasih atas diskusi-diskusinya dan tumpangan waktu di jogja, akhirnya bisa lulus bareng juga nih kita.... Buat *Nofi* (unnes) jangan suka ngerjain orang, ntar kebales lho, insyaf dong,,, dan jangan menunggu yang g' pasti awas keburu tua, Buat sobatkoe *Rury* (cilegon), sorry kamoe telah jadi korbankoe, terima kasih atas motivasi, persahabatan dan perhatian yang kamu berikan.. buat *A.siswanto* (elits'97) terima kasih atas trik-trik, saran dan kebaikan yang kamoe berikan, buat *Miftah* (UMM) thank's atas kebaikan dan persahabatannya...akhirnya kita bisa lolos bareng nih... Buat *Yani* (kebumen) tetap semangat yah, buat *mas Attawai*, cepet diselesaiin dong, buat *Diah*, kamoe pasti bisa,,
- ❖ Buat temen-temen fis'97 *Fitri, Nina, Ika, evie, Rulita, Sp*, wisuda bareng yuk, buat *Ana* (sabar yah, & jangan pilih2), *Anita* (sabar yah, percayalah dibalik itu pasti ada hikmahnya) *Erni, Anik, Hanif, Oka, Taufik, pakde Agus, Yudhi tuwek, Yudhi fitri, Anang, Fanadian, Syafaat, Afif, Susilo, Choirul, Paidi, Dedi, Amir, Iswanto, Prasetio, Acok, Baruna, Duto, Nuron, Adi, Rohman*, terima kasih atas kebersamaannya, dan tetep kompak selalu, kapan lulus nih,,, jangan lupa reuninya, yah....., buat *mas Andri'96* jangan suka usil dong, m' *Desy*, yuk wisuda bareng....
- ❖ Buat rekan fis'98, '99 *Reta, Ida, A'an, Yuyun, Ega*, dan rekan semua, terima kasih atas kebersamaannya.
- ❖ Buat the Big family ARH 104, buat m' *Nining*, (terima kasih atas segala kebaikannya, yang telah menunjukkan jalan hidupkoe lebih berarti), *Widjil* (akhirnya kita bisa wisuda bareng nih), *Lina* "si endok" (jangan makan endok terus, ntar makin bulet kamoe), *si Linda* (jadi yang mana nich), *Emon, Watik* (diterima aja dech), m' *ana, Wiwin, k'Ertin, Nofi, m'Ika, Dian, Narti* (cepatan dapet kerja, ojo nggodain arek ngarep,, awas kebales loh), *Nurin, Eva, Weni, Ifa, Tyas, Iin, Mariya, Lela, Yuni, Iis*, terima kasih atas kebersamaannya dan kebaikannya.
- ❖ Buat m' *Nia, Bu Prapto + bapak, m'Umi, m'Tir + pak Pur, bu Agus, m' Kiki, ika*, terima kasih banyak atas pertolongannya dan kebaikannya selama tinggal di jogja.

DATA KALIBRASI ALAT UJI SEL SURYA

Tegangan (Volt)	Jarak 20 cm Waktu 30 dtk		Jarak 20 cm Waktu 60 dtk	
	Arus (ampere)	Data (KW/m ²)	Arus (ampere)	Data (KW/m ²)
10	0.100	0.001	0.100	0.003
20	0.125	0.001	0.125	0.003
30	0.145	0.001	0.145	0.004
40	0.165	0.003	0.160	0.005
50	0.180	0.005	0.180	0.008
60	0.195	0.008	0.195	0.010
70	0.210	0.011	0.210	0.014
80	0.225	0.016	0.225	0.018
90	0.240	0.020	0.240	0.023
100	0.255	0.026	0.255	0.028
110	0.270	0.032	0.270	0.034
120	0.285	0.040	0.285	0.043
130	0.300	0.047	0.300	0.050
140	0.310	0.055	0.310	0.059
150	0.320	0.063	0.320	0.068
160	0.330	0.072	0.335	0.075
170	0.345	0.081	0.350	0.085
180	0.355	0.089	0.360	0.094
190	0.365	0.097	0.365	0.103
200	0.375	0.108	0.375	0.114
210	0.385	0.118	0.390	0.124
220	0.400	0.130	0.400	0.136
230	0.410	0.140	0.410	0.148
235	0.415	0.145	0.415	0.151

Keterangan : sumber lampu 100 watt

Jarak lampu dengan sensor 20 cm

φ Sensor 1,16 cm